

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.

(19)



(11) Publication number: 08250479 A

Generated Document.

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(21) Application number: 07055419

(51) Int'l. H01L 21/3065 C23F 4/00
Cl.:

(22) Application date: 15.03.95

(30) Priority:

(43) Date of application publication: 27.09.96

(84) Designated contracting states:

(71) Applicant: HITACHI LTD

(72) Inventor: ARAI MAKOTO
KOTO NAOYUKI
TSUJIMOTO KAZUNORI
MIZUTANI TATSUMI

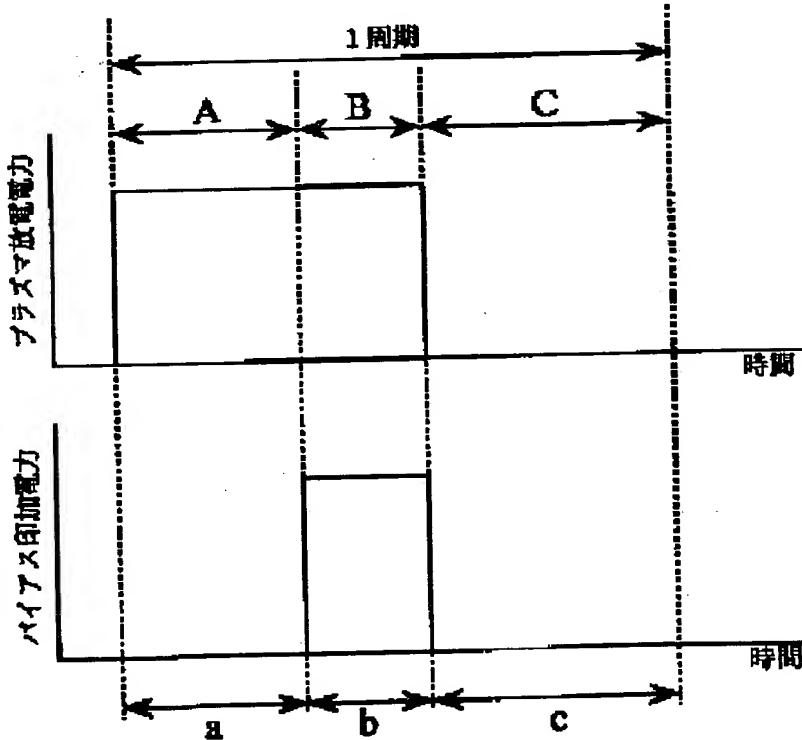
(74) Representative:

(54) METHOD AND DEVICE FOR SURFACE TREATMENT

(57) Abstract:

PURPOSE: To improve the etching yield of a sample and perform high-selectivity etching on the sample by periodically providing a first period in which a reactive species is adsorbed to the surface of the sample, second period in which accelerated particles are projected upon the surface of the sample, and third period in which resulting products of reaction are separated from the surface of the sample and discharged to the outside.

CONSTITUTION: The processing course of a surface-treating method using plasma is mainly composed of a first period A in which a reactive species is adsorbed to the surface of a sample, second period B in which accelerated particles are projected upon the surface of the sample, and third period C in which resulting products of reaction are separated from the surface of the sample and discharged to the outside and the processing course composed of the periods A, B, and C is periodically performed in a period of 1 msec to 1sec. When ions are projected upon the surface of the sample as the accelerated particles, plasma discharge is performed with an arbitrary modulated power in the periods A and B and a bias is applied across a sample stage by using the arbitrary modulated power in the period B. In addition, the material is treated by stopping the plasma discharge and application of the bias power in the period C.



(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-250479

(43)公開日 平成8年(1996)9月27日

(51)Int.Cl.⁸
H 01 L 21/3065
C 23 F 4/00

識別記号

序内整理番号

F I
H 01 L 21/302
C 23 F 4/00
H 01 L 21/302

技術表示箇所
A
A
B

審査請求 未請求 請求項の数32 OL (全26頁)

(21)出願番号 特願平7-55419

(22)出願日 平成7年(1995)3月15日

(71)出願人 000005108
株式会社日立製作所
東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地
(72)発明者 新井 真
東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地
株式会社日立製作所中央研究所内
(72)発明者 小藤 直行
東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地
株式会社日立製作所中央研究所内
(72)発明者 辻本 和典
東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地
株式会社日立製作所中央研究所内
(74)代理人 弁理士 小川 勝男

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 表面処理方法及び表面処理装置

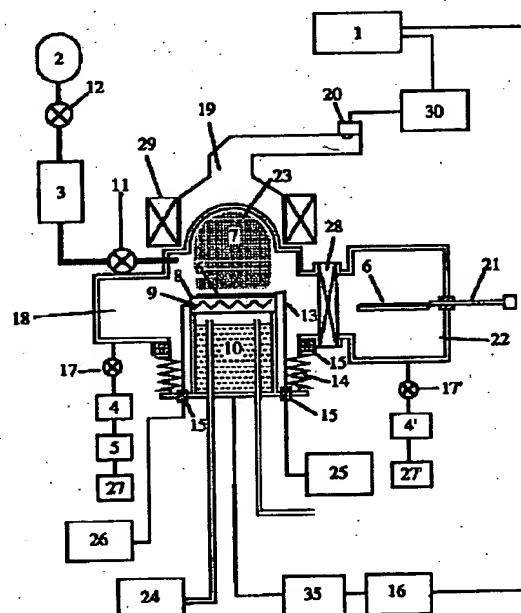
(57)【要約】

【目的】 本発明は、高選択なドライエッティングを行なう方法および装置を提供することを目的としている。

【構成】 ドライエッティングにおいて、エッティング処理過程が、主として反応種が表面に吸着する素過程を含む第1の期間A、次いで吸着反応種と材料の反応を促進するべく加速された粒子が表面に照射される素過程を含む第2の期間B、次いで反応生成物が表面から脱離し排気される素過程を含む第3の期間Cとからなり、かつこのA、B、Cの期間からなる処理過程を1[msec]以上1[sec]以下の周期で周期的に行なう。

【効果】 本発明によりエッティングの収率が高まり、マスク材料と下地材料とのエッティングの選択比を向上させる効果がある。

図7



【特許請求の範囲】

【請求項 1】処理室内の試料台にウェハを載置し、前記処理室を排気手段によって所望の真空中に排気し、前記処理室にガス導入手段によって材料処理ガスを導入し、プラズマ放電手段によって前記導入されたガスをプラズマ化し、該プラズマによりウェハ上に形成された材料を処理する表面処理方法において、処理過程が、主として反応種が表面に吸着する素過程を含む第1の期間A、次いで吸着反応種と材料の反応を促進するべく加速された粒子が表面に照射される素過程を含む第2の期間B、次いで反応生成物が表面から脱離し排気される素過程を含む第3の期間Cとからなり、かつこのA、B、Cの期間からなる処理過程を1[msec]以上1[sec]以下の周期で周期的に行なうことを特徴とする表面処理方法。

【請求項 2】処理室内の試料台にウェハを載置し、前記処理室を排気手段によって所望の真空中に排気し、前記処理室にガス導入手段によって材料処理ガスを導入し、プラズマ放電手段によって前記導入されたガスをプラズマ化し、該プラズマによりウェハ上に形成された材料を処理する表面処理方法において、処理過程が、反応種が表面に吸着する過程および吸着反応種と材料の反応を促進するべく加速された粒子が表面に照射される過程を含む第1の期間D、次いで反応生成物が表面から脱離し排気される過程を含む第2の期間Eとからなり、かつこのD、Eの期間からなる処理過程を1[msec]以上1[sec]以下の周期で周期的に行なうことを特徴とする表面処理方法。

【請求項 3】処理室内の試料台にウェハを載置し、前記処理室を排気手段によって所望の真空中に排気し、前記処理室にガス導入手段によって材料処理ガスを導入し、プラズマ放電手段によって前記導入されたガスをプラズマ化し、該プラズマによりウェハ上に形成された材料を処理する表面処理方法において、処理過程が、反応種が表面に吸着する過程および表面に生成した反応生成物が表面から脱離し排気される過程を含む第1の期間F、次いで吸着反応種と材料の反応を促進するべく加速された粒子が表面に照射される過程を含む第2の期間Gとからなり、かつこのF、Gの期間からなる処理過程を1[msec]以上1[sec]以下の周期で周期的に行なうことを特徴とする表面処理方法。

【請求項 4】請求項 1、2、3のいずれかに記載の吸着反応種と材料の反応を促進するべく加速されて表面に照射される粒子は、試料台に印加されたバイアス電力により加速されたイオンであることを特徴とする請求項 1、2、3に記載の表面処理方法。

【請求項 5】請求項 1において、前記排気手段の実効総排気速度を500[liter/sec]以上とし、期間Aおよび期間Bにおいて任意の変調電力でプラズマ放電が行なわれ、期間Bにおいて試料台に任意の変調電力でバイアス電力が印加され、期間Cにおいてはプラズマ放電とバイアス

電力の印加が停止されるという期間A、B、Cからなる処理を1[msec]以上1[sec]以下の周期で周期的に行なう、ウェハ上に形成された材料を処理することを特徴とする請求項 1に記載の表面処理方法。

【請求項 6】処理室内に、ウェハを保持するための試料台、前記処理室を排気するための排気手段、前記処理室に材料処理ガスを導入するガス導入手段、該供給されたガスをプラズマ化するためのプラズマ放電手段、前記試料台にバイアス電力を印加するバイアス電力印加手段を有する表面処理装置において、前記排気手段は実効総排気速度500[liter/sec]以上を有し、前記プラズマ放電手段はプラズマ放電を任意の変調電力でかつ1[sec]以下の周期で周期的に発生させる機能を有し、前記バイアス電力印加手段は試料台にバイアス電力を任意の変調電力で、かつ1[sec]以下の周期で周期的に印加する機能を有し、かつ該プラズマ放電と該バイアス電力の印加を任意の位相で同期をとて周期的に行なう機能を有することを特徴とする表面処理装置。

【請求項 7】請求項 2、3のいずれかに記載の表面処理方法は、排気手段の実効総排気速度を500[liter/sec]以上とし、プラズマ放電と試料台へのバイアス電力の印加のうち少なくとも一方を任意の変調電力で、かつ1[msec]以上1[sec]以下の周期で周期的に行ない、試料台に載置したウェハ上に形成された材料を処理することを特徴とする請求項 2、3に記載の表面処理方法。

【請求項 8】処理室内に、ウェハを保持するための試料台、前記処理室を排気するための排気手段、前記処理室にウェハ処理ガスを導入するガス導入手段、該供給されたガスをプラズマ化するためのプラズマ放電手段、前記試料台にバイアス電力を印加するバイアス電力印加手段を有する表面処理装置において、前記排気手段は実効総排気速度500[liter/sec]以上を有し、前記プラズマ放電手段もしくは前記バイアス電力印加手段のいずれか一方が任意の変調電力で、かつ1[sec]以下の周期で周期的に動作する機能を有することを特徴とする表面処理装置。

【請求項 9】請求項 1、2、3のいずれかに記載の吸着反応種と材料の反応を促進するべく加速されて試料台に載置されたウェハ表面に照射される粒子は、プラズマ内で生成したイオンを加速し、これに電荷を与えて中性化することにより生じた中性粒子ビームであることを特徴とする請求項 1、2、3に記載の表面処理方法。

【請求項 10】処理室内に、ウェハを保持するための試料台、前記処理室を排気するための排気手段、前記処理室にウェハ処理ガスを導入する少なくとも一つ以上のガス導入手段、該供給されたガスをプラズマ化するためのプラズマ放電手段、該プラズマ中で発生したイオンを前記試料台に載置されたウェハ表面方向に加速するためのイオン加速手段、前記試料台に載置されたウェハ前面に設けられ、ウェハ表面に向けて入射するイオンを電気的に排除し、中性粒子のみをウェハ表面に入射させるため

のイオン入射阻止手段を有する表面処理装置において、前記排気手段は実効総排気速度500[liter/sec]以上を有し、前記プラズマ放電手段はプラズマ放電を任意の変調電力でかつ1[sec]以下の周期で周期的に発生させる機能を有し、前記イオン加速手段にはイオン加速電圧が任意の変調電圧かつ1[sec]以下の周期で周期的に印加される機能を有し、かつ該プラズマ放電とイオン加速電圧の印加を任意の位相で同期をとって周期的に行なう機能を有することを特徴とする表面処理装置。

【請求項11】請求項1、2、3のいずれかに記載の排気手段は実効総排気速度500[liter/sec]以上を有することを特徴とする請求項1、2、3に記載の表面処理方法。

【請求項12】請求項1、2、3、5、6、7、8、10のいずれかに記載の排気手段は実効総排気速度800[liter/sec]以上を有することを特徴とする請求項1、2、3、5、7に記載の表面処理方法および請求項6、8、10に記載の表面処理装置。

【請求項13】請求項1、2、3、5、6、7、8、10のいずれかに記載の排気手段は実効総排気速度1300[liter/sec]以上を有することを特徴とする請求項1、2、3、5、7に記載の表面処理方法および請求項6、8、10に記載の表面処理装置。

【請求項14】請求項1、2、3、5、6、7、8、10のいずれかに記載の周期は1[msec]以上500[msec]以下であることを特徴とする請求項1、2、3、5、7に記載の表面処理方法および請求項6、8、10に記載の表面処理装置。

【請求項15】請求項1、2、3、5、6、7、8、10のいずれかに記載の周期は1[msec]以上350[msec]以下であることを特徴とする請求項1、2、3、5、7に記載の表面処理方法および請求項6、8、10に記載の表面処理装置。

【請求項16】請求項1、2、3、5、6、7、8、10のいずれかに記載の周期は1[msec]以上250[msec]以下であることを特徴とする請求項1、2、3、5、7に記載の表面処理方法および請求項6、8、10に記載の表面処理装置。

【請求項17】請求項1、2、3、5、6、7、8、10のいずれかに記載の排気手段および周期は、実効総排気速度500[liter/sec]以上を有する排気手段であり、かつ周期1[msec]以上500[msec]以下であることを特徴とする請求項1、2、3、5、7に記載の表面処理方法および請求項6、8、10に記載の表面処理装置。

【請求項18】請求項1、2、3、5、6、7、8、10のいずれかに記載の排気手段および周期は、実効総排気速度800[liter/sec]以上を有する排気手段であり、かつ周期1[msec]以上350[msec]以下であることを特徴とする請求項1、2、3、5、7に記載の表面処理方法および請求項6、8、10に記載の表面処理装置。

【請求項19】請求項1、2、3、5、6、7、8、10のいずれかに記載の排気手段および周期は、実効総排気速度1300[liter/sec]以上を有する排気手段であり、かつ周期1[msec]以上250[msec]以下であることを特徴とする請求項1、2、3、5、7に記載の表面処理方法および請求項6、8、10に記載の表面処理装置。

【請求項20】請求項5、6のいずれかに記載の周期的に行なわれるプラズマ放電とバイアス電力の印加は、複数の出力チャンネルを有する時間変調制御器の出力信号を前記プラズマ放電手段およびバイアス電力印加手段に入力し、該プラズマ放電手段の電源および該バイアス電力印加手段の電源の出力電力を周期的に変調することによって行なわれ、かつ該時間変調制御器の各出力チャンネルの信号は各チャンネル毎に独立に任意の波形、かつ任意の位相で同期をとって設定可能であり、これにより任意の電力で放電変調を行ない、かつ任意の電力でバイアス変調を行ない、かつ放電変調とバイアス変調を任意の位相で同期をとって行なうことを特徴とする請求項5に記載の表面処理方法および請求項6に記載の表面処理装置。

【請求項21】請求項7、8のいずれかに記載の周期的に行なわれるプラズマ放電は、時間変調制御器の出力信号を前記プラズマ放電手段に入力し、該プラズマ放電手段の電源の出力電力を周期的に変調することによって行なわれ、かつ該時間変調制御器の出力チャンネルの信号は任意の波形で設定可能であり、これにより任意の電力で放電変調を行なうことを特徴とする請求項7に記載の表面処理方法および請求項8に記載の表面処理装置。

【請求項22】請求項7、8のいずれかに記載の周期的に行なわれるバイアス電力の印加は、時間変調制御器の出力信号を前記バイアス電力印加手段に入力し、該バイアス電力印加手段の電源の出力電力を周期的に変調することによって行なわれ、かつ該時間変調制御器の出力チャンネルの信号は任意の波形で設定可能であり、これにより任意の電力でバイアス変調を行なうことを特徴とする請求項7に記載の表面処理方法および請求項8に記載の表面処理装置。

【請求項23】請求項10に記載の周期的に行なわれるプラズマ放電とイオン加速電圧の印加は、複数の出力チャンネルを有する時間変調制御器の出力信号を前記プラズマ放電手段およびイオン加速電圧印加手段に入力し、該プラズマ放電手段の電源の出力電力および該イオン加速電圧印加手段の電源の出力電圧を周期的に変調することによって行なわれ、かつ該時間変調制御器の各出力チャンネルの信号は各チャンネル毎に独立に任意の波形、かつ任意の位相で同期をとって設定可能であり、これにより任意の電力で放電変調を行ない、かつ任意の電力でイオン加速電圧の変調を行ない、かつ放電変調とイオン加速電圧の変調を任意の位相で同期をとって行なうことを特徴とする請求項10に記載の表面処理装置。

【請求項24】請求項20、21、22、23のいずれかに記載の時間変調制御器の出力チャンネルからの信号波形は矩形波であることを特徴とする請求項20、21、22、23に記載の表面処理方法および表面処理装置。

【請求項25】請求項1、2、3、4、5、6、7、8、9、10のいずれかに記載の試料台はウェハ温度を所望の温度に保持するための温度調節手段を有することを特徴とする請求項1、2、3、4、5、7、9に記載の表面処理方法および請求項6、8、10に記載の表面処理装置。

【請求項26】請求項1、2、3、4、5、6、7、8のいずれかに記載のバイアスは、高周波バイアスであることを特徴とする請求項1、2、3、4、5、7に記載の表面処理方法および請求項6、8に記載の表面処理装置。

【請求項27】請求項1、2、3、4、5、6、7、8のいずれかに記載のバイアスは、直流電源の出力を変調したものであることを特徴とする請求項1、2、3、4、5、7に記載の表面処理方法および請求項6、8に記載の表面処理装置。

【請求項28】請求項1、2、3、5、6、7、8、10のいずれかに記載のプラズマ放電手段は、マイクロ波によるプラズマ放電を生成させるものであることを特徴とする請求項1、2、3、5、7に記載の表面処理方法および請求項6、8、10に記載の表面処理装置。

【請求項29】請求項1、2、3、5、6、7、8、10のいずれかに記載のプラズマ放電手段は、ヘリコン波方式、もしくは高周波誘導方式によるプラズマ放電を生成させるものであることを特徴とする請求項1、2、3、5、7に記載の表面処理方法および請求項6、8、10に記載の表面処理装置。

【請求項30】請求項1、2、3、4、5、7、9いずれかに記載の材料は単結晶シリコン、もしくは多結晶シリコンであることを特徴とする請求項1、2、3、4、5、7、9に記載の表面処理方法。

【請求項31】請求項1、2、3、4、5、7、9いずれかに記載の材料はシリコンの酸化膜、もしくはシリコンの窒化膜であることを特徴とする請求項1、2、3、4、5、7、9に記載の表面処理方法。

【請求項32】請求項1、2、3、4、5、7、9いずれかに記載の材料はアルミニウムであることを特徴とする請求項1、2、3、4、5、7、9に記載の表面処理方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、半導体集積回路の製造工程において、材料の表面処理を行なう表面処理方法および表面処理装置に関わり、とくに微細加工を行なうドライエッティング方法およびドライエッティング装置に関する。

【0002】

【従来の技術】従来のドライエッティングの方法と装置について説明する。

【0003】ドライエッティングは、処理室内の試料台にウェハを載置し、この処理室を所望の真空中に排気した後材料処理用のガスを導入し、放電発生手段によってこのガスを反応性ガスプラズマと化してウェハ上に形成した材料表面に照射して行なわれる。

【0004】このドライエッティングを行なう従来の装置には次のようなものがある。

【0005】先ず、一組の対向電極の一方でウェハを載置し、この電極もしくは他の一方の電極に高周波を印加してプラズマを生成しウェハを処理する、所謂高周波放電平行平板型反応性ドライエッティング(RIE; Reactive Ion Etching)装置がある。これにさらに磁場を組み合わせた、所謂マグネットロンRIE方式もある。

【0006】近年ドライエッティング装置は、低圧力高密度プラズマ化の方向に進んでおり、以下のような新しい方式の装置がある。先ず、マグネットロンによって生成したマイクロ波(周波数は主として2.45[GHz])を処理室に導入してガスをプラズマ化するマイクロ波プラズマ(ERC; Electron Cyclotron Resonance プラズマとも呼ばれている)エッティング装置がある。この装置では、プラズマ放電と独立に試料台にバイアスを印加することができる。また、電子材料 1992年別冊 121頁に掲載されているような、ヘリコン波方式や、高周波誘導方式によるドライエッティング装置がある。高周波誘導方式には高周波を印加するコイルの巻型により、ヘリカル共鳴型とTCP(トランスフォーマ・カップルド・プラズマ)型の2種類がある。この装置でも、プラズマ放電と独立に試料台にバイアスを印加することができる。

【0007】以上のような装置を用いて行なわれるドライエッティングにおいて、プラズマ放電、およびバイアスの印加を時間変調して行なう方法がある。その例を以下に挙げる。

【0008】特開昭58-186937には、放電を生成する高周波電力の周波数を時間的に変化させることにより、ウェハに入射するイオンの種間の比率とエネルギーを制御する方法が記載されている。

【0009】特開昭59-47733には、マイクロ波放電プラズマにおいて、マイクロ波のエネルギーを時間的に変化させることにより、プラズマ中に生成するイオンとラジカルの比率と組成を制御する方法が記載されている。これは放電の変調によりプラズマ中の電子温度と電子密度を制御することに基づいている。

【0010】特開昭60-62125には、高周波電力を間歇的に供給することにより、活性種の空間的不均一を解消し、反応生成物再分解による処理室の汚染を防止する方法が記載されている。

【0011】特開昭60-86831には、高周波電圧を周期的

に変調して放電を発生させる方法が記載されている。

【0012】特開昭56-13480には、マイクロ波プラズマエッティング装置において試料台に100kHz~10MHzの交流電圧を印加してウェハのチャージアップを防止する方法が記載されている。

【0013】特開昭62-111429には、放電用電極にパルス上の直流電圧を重畠してプラズマと試料間のイオン加速電圧を変調可能とし、エッティングによる試料のダメージを防止し、エッティング速度や選択比を向上させる方法が記載されている。

【0014】特開昭61-13625には、マイクロ波プラズマ処理装置において、マイクロ波電力を周期的に変調させる方法、およびイオンの加速電圧を周期的に変化させる方法が記載されている。

【0015】特開平1-236629には、パルス状マイクロ波の発生と高周波バイアスの発生時期を同期させ、放電オフ時の高周波不整合を回避し、基板での高電圧発生による高周波放電を防止する方法が記載されている。

【0016】特開平3-155620には、マイクロ波を断続的に供給するタイミングと同期して、試料台に交流バイアス電圧を供給することにより、プラズマ発生時のみバイアスを印加してインピーダンス整合をとつて交流バイアスの効果を向上させる方法が記載されている。

【0017】特開平4-174514には、パルス状マイクロ波の発生と高周波バイアスの発生時期を同期させ、高周波バイアス電圧の立上り時刻をパルス状マイクロ波の発生時刻よりも遅らせたり、高周波バイアス電圧の立下がり時刻をパルス状マイクロ波の停止時刻よりも早めることによって、高周波バイアス電圧をマイクロ波パルスと同期して印加する際に、基板に装置内接地部位に対して異常電圧が発生することを防止する方法が記載されている。

【0018】特開昭60-50923には、ガスの導入量を変化させる方法、ガスの導入量に応じて試料への外部電圧の印加を変化させる方法、およびガスの導入量に応じて試料へのプラズマの照射を間歇的に変化させる方法が記載されている。

【0019】特開平2-105413には、エッティングガスと側壁保護膜形成用の堆積性ガスを交互に十数秒の周期で周期的に導入し、ガス切り替え周期に連動してプラズマ発生電力を周期的にオン-オフ動作させ、エッティングガス周期に連動させて高周波バイアス電力を周期的に投入することにより、マイクローディング効果を解消する方法が記載されている。

【0020】特開平3-12921には、試料への反応性ガスの付着工程と粒子ビーム照射工程のうち少なくとも一方を間歇的に行なう方法が記載されている。

【0021】特開平3-263827には、エッチャントを生成するプラズマと、イオンを基板に照射するプラズマとを、交互に制御された時間間隔でパルス状に放電する装

置が記載されている。

【0022】特開平5-267226には、処理室の実効総排気速度を1300[liter/sec]以上、処理室内のガスの滞在時間を100[msec]以下、ガス流量調整手段が一定流量を保持できる最短時間を50[msec]以下とし、ガス流量調整手段と排気速度を変える手段と放電手段の動作を制御し、ガスを所定の時間間隔で周期的かつ間歇的に流し、エッティングステップと膜形成のステップを繰り返す方法が記載されている。

【0023】以上述べたドライエッティングにおける表面反応について説明する。ドライエッティングは所望の真空中で排気された処理室内で、反応性ガスプラズマをウェハに照射して行なわれるが、このときウェハを載置した試料台には通常高周波バイアスが印加されており負の電位となっている。プラズマ中には、ガス分子から解離生成したラジカルと、正および負のイオンが存在している。この反応種（ラジカルもしくは分子）が材料表面に吸着し、そこに正のイオンが入射するとイオン衝撃エネルギーにより反応が活性化する所謂イオンアシスト反応により吸着反応種と材料原子の間で結合の組み替えが起こり、生じた揮発性の反応生成物が脱離してエッティングが進行する。このイオンの並進運動エネルギーにより表面が励起されイオンアシスト反応が起きる領域を以後リアクティヴ・スポットと呼ぶ。このようにドライエッティングは反応種の被エッティング材料表面への吸着過程、入射イオンにより反応が活性化するイオンアシスト反応過程、反応生成物の脱離排気過程の三つの素過程からなっている。ところが従来のドライエッティングではこれら三つの素過程が混在して起きている。

【0024】

【発明が解決しようとする課題】エッティング素過程が混在していることはエッティングの選択性低下をもたらす。これをマイクロ波プラズマエッティング装置を用いた、塩素ガス(Cl_2)によるシリコン(Si)のエッティングを例にして説明する。

【0025】先ず、ある1つのリアクティヴ・スポットにおいてイオンアシスト反応が起きる時間間隔について考えてみる。リアクティヴ・スポットの大きさは材料とエッティングガスが決まれば、放電手段によらずイオンの入射エネルギーに依存すると考えられる。ジャーナル・オブ・ヴァキューム・サイエンス・アンド・テクノロジー、シリーズB、第4巻、459頁(1986年) (Journal of Vacuum Science AndTechnology, B volume 4, p 459 (1986))にRIEにおけるイオンアシスト反応について詳細に記載されており、リアクティヴ・スポットの大きさは約 $50[\text{\AA}^2]$ 程度であるとしている。そこで、ここででもリアクティヴ・スポットの大きさは $50[\text{\AA}^2]$ とする。

【0026】リアクティヴ・スポットへのClイオンの平均入射時間の見積りを行なう。本発明に関わるマイクロ

波プラズマエッティング装置においてイオン電流密度をCl₂ガスプラズマについて測定した結果、イオン電流密度はマイクロ波電力とガス圧力により変化するが、例えばガス圧力が0.5[mTorr]、マイクロ波電力が2000[W]の場合

$$\Gamma(\text{ion}) = I(\text{ion}) / 1.6 \times 10^{-19} [\text{C}]$$

から、 $\Gamma(\text{ion}) = 3.8 \times 10^{16} [\text{ions/sec} \cdot \text{cm}^2]$ である。この時、面積50[Å²] (= 50 × 10⁻¹⁶ [cm²]) のリアクティ

$$\Gamma_{\text{spot}}(\text{ion}) = \Gamma(\text{ion}) \times 50 \times 10^{-16} [\text{cm}^2]$$

から、 $\Gamma_{\text{spot}}(\text{ion}) = 1.9 \times 10^2 [\text{ions/sec}]$ であり、リ

アクティヴ・スポットへのイオンの平均入射間隔； $T_{\text{spot}}(\text{ion})$

$$T_{\text{spot}}(\text{ion}) = 1 / \Gamma_{\text{spot}}(\text{ion})$$

から、 $T_{\text{spot}}(\text{ion}) = 5.3 [\text{msec}]$ となる。従ってある面積50[Å²]の部分では約5.3 [msec] 毎にイオンアシスト反応が起きていることになる。

【0027】次に、リアクティヴ・スポットがCl原子に

$$\Gamma = 1.333 \cdot P / \sqrt{(2 \cdot k_B \cdot \pi \cdot m \cdot T)}$$

ここで、 k_B はボルツマン定数 ($1.38 \times 10^{-16} [\text{erg/K}]$)、 π は円周率である。プラズマ中でのCl₂の解離率は放電条件によって異なるので、近似計算としてCl₂の単位面積 (1 [cm²]) 当たりの入射フラックス； $\Gamma(\text{Cl}_2)$ を見積もる。Cl₂の質量は、Clの原子量35.45、およびアボガドロ数 6.02×10^{23} から、 $1.18 \times 10^{-22} [\text{g}]$ である。気体の温

$$\Gamma_{\text{spot}}(\text{Cl}_2) = \Gamma(\text{Cl}_2) \times 50 \times 10^{-16} [\text{cm}^2]$$

から、 $\Gamma_{\text{spot}}(\text{Cl}_2) = 6.0 \times 10^2 [\text{molec/sec}]$ であり、リ

アクティヴ・スポットへのCl₂の平均入射間隔； $T_{\text{spot}}(\text{Cl}_2)$

$$T_{\text{spot}}(\text{Cl}_2) = 1 / \Gamma_{\text{spot}}(\text{Cl}_2)$$

から、 $T_{\text{spot}}(\text{Cl}_2) = 1.7 [\text{msec}]$ となる。Cl原子のファン・デル・ワールス半径が1.8[Å] (理科年表から) であることから、リアクティヴ・スポットは5個程度のCl原子によって被覆される。従って、Cl原子の吸着確率が約30

$$T_{\text{spot}}(\text{Cl}) = T_{\text{spot}}(\text{Cl}_2) \times 5$$

から、 $T_{\text{spot}}(\text{Cl})$ = 約4.2[msec]の時間を要し、イオンの平均入射間隔5.3[msec] と同程度であることがわかる。

【0029】以上はCl₂の表面入射フラックスから考えた議論であるが、プラズマ中でのCl₂の解離効率は通常1以下であるから、リアクティヴ・スポット全面がCl原子により被覆されるまでの時間は4.2[msec]以上になると考えられる。

【0030】以上の議論における、リアクティヴ・スポットへのイオンの平均入射間隔とかリアクティヴ・スポット全面が吸着粒子により被覆される時間といったものは、統計的な平均値である。素過程が混在していると、あるイオンが表面に入射してリアクティヴ・スポットが生成したときに、その領域にはほとんど反応種が吸着していない場合や、また、反応生成物が脱離しきれていない場合がある。あるいは、表面に反応種が多層吸着している場合も考えられる。即ち、イオンが入射して一つのリアクティヴ・スポットが生じたときに、そのスポット領域に吸着している反応種の数にバラツキがあるのであ

* 合、イオン電流密度； $I(\text{ion})$ は6[mA/cm²] であった。この条件の場合を例にして見積りを行なう。単位面積 (1 [cm²]) 当たりのイオンフラックス； $\Gamma(\text{ion})$ は電荷素量が $1.6 \times 10^{-19} [\text{C}]$ であるから次の(1)式；

(1)

* ヴ・スポットに入射するイオン数； $\Gamma_{\text{spot}}(\text{ion})$ は次の(2)式；

(2)

*_{spot}(ion) は次の(3)式；

(3)

☆よって被覆される時間の見積りを行なう。温度T[K]、圧力P[mTorr]、質量m[g]の気体の単位表面積当たりの入射フラックス； Γ は次式で表される。

【0028】

(4)

◆度を室温(298[K])と近似するとガス圧力0.5[mTorr]のとき $\Gamma(\text{Cl}_2)$ は(4)式から、

$$\Gamma(\text{Cl}_2) = 1.2 \times 10^{17} [\text{molec/sec} \cdot \text{cm}^2]$$

である。この時リアクティヴ・スポットに入射するCl₂分子数； $\Gamma_{\text{spot}}(\text{Cl}_2)$ は次の(5)式；

(5)

*_{spot}(Cl₂) は次の(6)式；

(6)

* 1 であるとしても、リアクティヴ・スポット全面がCl原子により被覆されるまでの時間； $T_{\text{spot}}(\text{Cl})$ は次の(7)式；

(7)

る。

【0031】イオンが入射して一つのリアクティヴ・スポットが生じたときに、リアクティヴ・スポットの吸着反応種数にバラツキがあるとエッティング収率(入射イオン1個当たりエッティングされる材料原子の数)の低下をもたらす。このことを図1を用いて説明する。エッティング収率(Yとする)は吸着反応種数(Nとする)の増加と共に増大するが、あるエネルギーのイオン入射により活性化するエッティングの収率には上限があり、反応種が多く吸着していればそれだけエッティング収率が高くなるわけではない。従って、エッティング収率Yと吸着反応種数Nの関係は図1のようになると考えられる。図1における横軸のNの増加は、あるリアクティヴ・スポットにイオンが入射してイオンアシスト反応が起きた後の時間の経過に対応していると考えてよい。すなわち、この時間の経過によってNは増加しYも増加するが、ある吸着反応種数N₀以上でエッティング収率は最大値Y_{max}となることを示している。ところで、あるリアクティヴ・スポットへのイオンの入射間隔は統計的には前述のように計算で

きるが、これはあくまで平均値であり、実際にはイオンの入射時間間隔にはバラツキがある。また、先の時間経過による吸着反応種数の増加にもバラツキがあると考えられる。そのため、あるイオンが入射したときに、リアクティヴ・スポットにほとんど反応種が吸着していない状況も考えられ(図1-①)、エッティング収率が低くなる。また、表面に反応種が多層吸着している状況も考えられるが、ある上限(Y_{max})以上のエッティング収率は得られない(図1-②)。すなわち、①のような状況でエッティングが起きることが収率の低下をもたらすのである。

【0032】さらに、エッティング収率の低下をもたらす第2の原因として、反応生成物の影響がある。すなわち反応生成物が脱離しきれていない表面にイオンが入射しても高収率のエッティングは行なわれない。さらに反応生成物の被エッティング材料表面への再付着もある。イオンアシスト反応により材料表面に生成した揮発性の反応生成物は、表面から脱離した後、プラズマ中で解離して表面に入射すると再付着してしまう。材料表面に反応生成物の再付着が起こると、その分反応種が吸着できなくなり、エッティング収率の低下を引き起こすのである。

【0033】以上のように、従来はエッティング収率が低下した状態でエッティングを遂行していたため、所定のエッティング量を得るためにエッティング時間の延長が必要であった。すなわち、過剰のイオン入射が必要とされてたのである。この過剰のイオン入射は、マスク材料およびオーバーエッティング時に下地材料のエッティングを促進してしまう。被エッティング材料とマスク材料および下地材料とのエッティング速度の選択性の問題は、LSIの高集積化と共にエッティングの微細化が進むにつれ極めて難しくなっており、選択性の向上は重要な技術課題となっているのである。

【0034】本発明の目的は以上のような状況を鑑み、加速粒子の入射によるエッティング収率を高め、選択性の高いエッティングを行なう方法と装置を提供することである。

【0035】

【課題を解決するための手段】選択性を高めるための本発明の手段について以下に述べる。

【0036】第1の手段は、処理室内の試料台にウェハを載置し、前記処理室を排気手段によって所望の真空中に排気し、前記処理室にガス導入手段によって材料処理ガスを導入し、プラズマ放電手段によって前記導入されたガスをプラズマ化し、該プラズマによりウェハ上に形成された材料を処理する表面処理方法において、処理過程が、主として反応種が表面に吸着する素過程を含む第1の期間A、次いで吸着反応種と材料の反応を促進するべく加速された粒子が表面に照射される素過程を含む第2の期間B、次いで反応生成物が表面から脱離し排気される素過程を含む第3の期間Cとからなり、かつこのA、B、Cの期間からなる処理過程を1[msec]以上1[sec]

c]以下の周期で周期的に行なうことを特徴とする表面処理方法である。

【0037】第2の手段は、処理室内の試料台にウェハを載置し、前記処理室を排気手段によって所望の真空中に排気し、前記処理室にガス導入手段によって材料処理ガスを導入し、プラズマ放電手段によって前記導入されたガスをプラズマ化し、該プラズマによりウェハ上に形成された材料を処理する表面処理方法において、処理過程が、反応種が表面に吸着する過程および吸着反応種と材料の反応を促進するべく加速された粒子が表面に照射される過程を含む第1の期間D、次いで反応生成物が表面から脱離し排気される過程を含む第2の期間Eとからなり、かつこのD、Eの期間からなる処理過程を1[msec]以上1[sec]以下の周期で周期的に行なうことを特徴とする表面処理方法である。

【0038】第3の手段は、処理室内の試料台にウェハを載置し、前記処理室を排気手段によって所望の真空中に排気し、前記処理室にガス導入手段によって材料処理ガスを導入し、プラズマ放電手段によって前記導入されたガスをプラズマ化し、該プラズマによりウェハ上に形成された材料を処理する表面処理方法において、処理過程が、反応種が表面に吸着する過程および表面に生成した反応生成物が表面から脱離し排気される過程を含む第1の期間F、次いで吸着反応種と材料の反応を促進するべく加速された粒子が表面に照射される過程を含む第2の期間Gとからなり、かつこのF、Gの期間からなる処理過程を1[msec]以上1[sec]以下の周期で周期的に行なうことを特徴とする表面処理方法である。

【0039】第4の手段は、第1、第2、第3の手段のいずれかに記載の吸着反応種と材料の反応を促進するべく加速されて表面に照射される粒子が、試料台に印加されたバイアス電力により加速されたイオンであることを特徴とする第1、第2、第3の手段に記載の表面処理方法である。

【0040】第5の手段は、第1の手段において、前記排気手段の実効総排気速度を500[liter/sec]以上とし、期間Aおよび期間Bにおいて任意の変調電力でプラズマ放電が行なわれ、期間Bにおいて試料台に任意の変調電力でバイアス電力が印加され、期間Cにおいてはプラズマ放電とバイアス電力の印加が停止されるという期間A、B、Cからなる処理1[msec]以上1[sec]以下の周期で周期的に行ない、ウェハ上に形成された材料を処理することを特徴とする第1の手段に記載の表面処理方法である。

【0041】第6の手段は、処理室内に、ウェハを保持するための試料台、前記処理室を排気するための排気手段、前記処理室に材料処理ガスを導入するガス導入手段、該供給されたガスをプラズマ化するためのプラズマ放電手段、前記試料台にバイアス電力を印加するバイアス電力印加手段を有する表面処理装置において、前記排

気手段は実効総排気速度500[liter/sec]以上を有し、前記プラズマ放電手段はプラズマ放電を任意の変調電力でかつ1[sec]以下の周期で周期的に発生させる機能を有し、前記バイアス電力印加手段は試料台にバイアス電力を任意の変調電力で、かつ1[sec]以下の周期で周期的に印加する機能を有し、かつ該プラズマ放電と該バイアス電力の印加を任意の位相で同期をとて周期的に行なう機能を有することを特徴とする表面処理装置であり、これを用いて材料を処理することである。

【0042】第7の手段は、第1、第2、第3の手段のいずれかにおいて、排気手段の実効総排気速度を500[liter/sec]以上とし、プラズマ放電と試料台へのバイアス電力の印加のうち少なくとも一方を任意の変調電力で、かつ1[msec]以上1[sec]以下の周期で周期的に行ない、試料台に載置したウェハ上に形成された材料を処理することを特徴とする第2、第3の手段に記載の表面処理方法である。

【0043】第8の手段は、処理室内に、ウェハを保持するための試料台、前記処理室を排気するための排気手段、前記処理室にウェハ処理ガスを導入するガス導入手段、該供給されたガスをプラズマ化するためのプラズマ放電手段、前記試料台にバイアス電力を印加するバイアス電力印加手段を有する表面処理装置において、前記排気手段は実効総排気速度500[liter/sec]以上を有し、前記プラズマ放電手段もしくは前記バイアス電力印加手段のいずれか一方が任意の変調電力で、かつ1[sec]以下の周期で周期的に動作する機能を有することを特徴とする表面処理装置であり、これを用いて材料を処理することである。

【0044】第9の手段は、第1、第2、第3の手段のいずれかに記載の吸着反応種と材料の反応を促進するべく加速されて試料台に載置されたウェハ表面に照射される粒子が、プラズマ内で生成したイオンを加速し、これに電荷を与えて中性化することにより生じた中性粒子ビームであることを特徴とする第1、第2、第3の手段に記載の表面処理方法である。

【0045】第10の手段は、処理室内に、ウェハを保持するための試料台、前記処理室を排気するための排気手段、前記処理室にウェハ処理ガスを導入する少なくとも一つ以上のガス導入手段、該供給されたガスをプラズマ化するためのプラズマ放電手段、該プラズマ中で発生したイオンを前記試料台に載置されたウェハ表面方向に加速するためのイオン加速手段、前記試料台に載置されたウェハ前面に設けられ、ウェハ表面に向けて入射するイオンを電気的に排除し、中性粒子のみをウェハ表面に入射させるためのイオン入射阻止手段を有する表面処理装置において、前記排気手段は実効総排気速度500[liter/sec]以上を有し、前記プラズマ放電手段はプラズマ放電を任意の変調電圧でかつ1[sec]以下の周期で周期的に発生させる機能を有し、前記イオン加速手段にはイオン加

速電圧が任意の変調電力かつ1[sec]以下の周期で周期的に印加される機能を有し、かつ該プラズマ放電とイオン加速電圧の印加を任意の位相で同期をとて周期的に行なう機能を有することを特徴とする表面処理装置であり、これを用いて材料を処理することである。

【0046】第11の手段は第1、第2、第3の手段のいずれかに記載の排気手段が実効総排気速度500[liter/sec]以上を有することを特徴とする第1、第2、第3の手段に記載の表面処理方法である。

【0047】第12の手段は、第1、第2、第3、第5、第6、第7、第8、第10の手段のいずれかに記載の排気手段が実効総排気速度800[liter/sec]以上を有することを特徴とする第1、第2、第3、第5、第7の手段に記載の表面処理方法であり、また第6、第8、第10の手段に記載の表面処理装置であり、これを用いて材料を処理することである。

【0048】第13の手段は、第1、第2、第3、第5、第6、第7、第8、第10の手段のいずれかに記載の排気手段が実効総排気速度1300[liter/sec]以上を有することを特徴とする第1、第2、第3、第5、第7の手段に記載の表面処理方法であり、また第6、第8、第10の手段に記載の表面処理装置であり、これを用いて材料を処理することである。

【0049】第14の手段は、第1、第2、第3、第5、第6、第7、第8、第10の手段のいずれかに記載の周期が1[msec]以上500[msec]以下であることを特徴とする第1、第2、第3、第5、第7の手段に記載の表面処理方法であり、また第6、第8、第10の手段に記載の表面処理装置であり、これを用いて材料を処理することである。

【0050】第15の手段は、第1、第2、第3、第5、第6、第7、第8、第10の手段のいずれかに記載の周期が1[msec]以上350[msec]以下であることを特徴とする第1、第2、第3、第5、第7の手段に記載の表面処理方法であり、また第6、第8、第10の手段に記載の表面処理装置であり、これを用いて材料を処理することである。

【0051】第16の手段は、第1、第2、第3、第5、第6、第7、第8、第10の手段のいずれかに記載の周期が1[msec]以上250[msec]以下であることを特徴とする第1、第2、第3、第5、第7の手段に記載の表面処理方法であり、また第6、第8、第10の手段に記載の表面処理装置であり、これを用いて材料を処理することである。

【0052】第17の手段は、第1、第2、第3、第5、第6、第7、第8、第10の手段のいずれかに記載の排気手段および周期が、実効総排気速度500[liter/sec]以上を有する排気手段であり、かつ周期1[msec]以上500[msec]以下であることを特徴とする第1、第2、第3、第5、第7の手段に記載の表面処理方法であり、また第

6、第8、第10の手段に記載の表面処理装置であり、これを用いて材料を処理することである。

【0053】第18の手段は、第1、第2、第3、第5、第6、第7、第8、第10の手段のいずれかに記載の排気手段および周期が、実効総排気速度800[liter/sec]以上を有する排気手段であり、かつ周期1[msec]以上350[msec]以下であることを特徴とする第1、第2、第3、第5、第7の手段に記載の表面処理方法であり、また第6、第8、第10の手段に記載の表面処理装置であり、これを用いて材料を処理することである。

【0054】第19の手段は、第1、第2、第3、第5、第6、第7、第8、第10の手段のいずれかに記載の排気手段および周期が、実効総排気速度1300[liter/sec]以上を有する排気手段であり、かつ周期1[msec]以上250[msec]以下であることを特徴とする第1、第2、第3、第5、第7の手段に記載の表面処理方法であり、また第6、第8、第10の手段に記載の表面処理装置であり、これを用いて材料を処理することである。

【0055】第20の手段は、第5、第6の手段のいずれかに記載の周期的に行なわれるプラズマ放電とバイアス電力の印加が、複数の出力チャンネルを有する時間変調制御器の出力信号を前記プラズマ放電手段およびバイアス電力印加手段に入力し、該プラズマ放電手段の電源および該バイアス電力印加手段の電源の出力電力を周期的に変調することによって行なわれ、かつ該時間変調制御器の各出力チャンネルの信号は各チャンネル毎に独立に任意の波形、かつ任意の位相で同期をとって設定可能であり、これにより任意の電力で放電変調を行ない、かつ任意の電力でバイアス変調を行ない、かつ放電変調とバイアス変調を任意の位相で同期をとて行なうことを特徴とする第5の手段に記載の表面処理方法であり、また第6の手段に記載の表面処理装置であり、これを用いて材料を処理することである。

【0056】第21の手段は、第7、第8の手段のいずれかに記載の周期的に行なわれるプラズマ放電が、時間変調制御器の出力信号を前記プラズマ放電手段に入力し、該プラズマ放電手段の電源の出力電力を周期的に変調することによって行なわれ、かつ該時間変調制御器の出力チャンネルの信号は任意の波形で設定可能であり、これにより任意の電力で放電変調を行なうことを特徴とする第7の手段に記載の表面処理方法であり、また第8の手段に記載の表面処理装置であり、これを用いて材料を処理することである。

【0057】第22の手段は、第7、第8の手段のいずれかに記載の周期的に行なわれるバイアス電力の印加が、時間変調制御器の出力信号を前記バイアス電力印加手段に入力し、該バイアス電力印加手段の電源の出力電力を周期的に変調することによって行なわれ、かつ該時間変調制御器の出力チャンネルの信号は任意の波形で設定可能であり、これにより任意の電力でバイアス変調を行な

うことを特徴とする第7の手段に記載の表面処理方法であり、また第8の手段に記載の表面処理装置であり、これを用いて材料を処理することである。

【0058】第23の手段は、第10の手段に記載の周期的に行なわれるプラズマ放電とイオン加速電圧の印加が、複数の出力チャンネルを有する時間変調制御器の出力信号を前記プラズマ放電手段およびイオン加速電圧印加手段に入力し、該プラズマ放電手段の電源の出力電力および該イオン加速電圧印加手段の電源の出力電圧を周期的に変調することによって行なわれ、かつ該時間変調制御器の各出力チャンネルの信号は各チャンネル毎に独立に任意の波形、かつ任意の位相で同期をとて設定可能であり、これにより任意の電力で放電変調を行ない、かつ任意の電力でイオン加速電圧の変調を行ない、かつ放電変調とイオン加速電圧の変調を任意の位相で同期をとて行なうことを特徴とする第10の手段に記載の表面処理装置であり、これを用いて材料を処理することである。

【0059】第24の手段は、第20、第21、第22、第23の手段のいずれかに記載の時間変調制御器の出力チャンネルからの信号波形が矩形波であることを特徴とする第20、第21、第22、第23の手段に記載の表面処理方法および表面処理装置であり、これを用いて材料を処理することである。

【0060】第25の手段は、第1、第2、第3、第4、第5、第6、第7、第8、第9、第10の手段のいずれかに記載の試料台がウェハ温度を所望の温度に保持するための温度調節手段を有することを特徴とする第1、第2、第3、第4、第5、第7、第9の手段に記載の表面処理方法であり、また第6、第8、第10の手段に記載の表面処理装置であり、これを用いて材料を処理することである。

【0061】第26の手段は、第1、第2、第3、第4、第5、第6、第7、第8の手段のいずれかに記載のバイアスが、高周波バイアスであることを特徴とする第1、第2、第3、第4、第5、第7の手段に記載の表面処理方法であり、また第6、第8の手段に記載の表面処理装置であり、これを用いて材料を処理することである。

【0062】第27の手段は、第1、第2、第3、第4、第5、第6、第7、第8の手段のいずれかに記載のバイアスが、直流電源の出力を変調したものであることを特徴とする第1、第2、第3、第4、第5、第7の手段に記載の表面処理方法であり、また第6、第8の手段に記載の表面処理装置であり、これを用いて材料を処理することである。

【0063】第28の手段は第1、第2、第3、第5、第6、第7、第8、第10の手段のいずれかに記載のプラズマ放電手段が、マイクロ波によるプラズマ放電を生成させるものであることを特徴とする第1、第2、第3、第5、第7の手段に記載の表面処理方法であり、また第6、第8、第10の手段に記載の表面処理装置であり、こ

れを用いて材料を処理することである。

【0064】第29の手段は第1、第2、第3、第5、第6、第7、第8、第10の手段のいずれかに記載のプラズマ放電手段が、ヘリコン波方式、もしくは高周波誘導方式によるプラズマ放電を生成させるものであることを特徴とする第1、第2、第3、第5、第7に手段記載の表面処理方法であり、また第6、第8、第10の手段に記載の表面処理装置であり、これを用いて材料を処理することである。

【0065】

【作用】以下に本発明の作用を説明する。

【0066】まず第1の手段、即ち処理室内の試料台にウェハを載置し、前記処理室を排気手段によって所望の真空中に排気し、前記処理室にガス導入手段によって材料処理ガスを導入し、プラズマ放電手段によって前記導入されたガスをプラズマ化し、該プラズマによりウェハ上に形成された材料を処理する表面処理方法において、処理過程が、主として反応種が表面に吸着する第1の期間A、次いで吸着反応種と材料の反応を促進するべく加速された粒子が表面に照射される第2の期間B、次いで反応生成物が表面から脱離し排気される第3の期間Cとからなり、かつこのA、B、Cの期間からなる処理過程を1[msec]以上1[sec]以下の周期で周期的に行なうこととする表面処理方法の作用を説明する。

【0067】ここで、吸着反応種と材料の反応を促進するべく加速され表面に照射する粒子をイオンとした場合、本方法は、図2に示すように期間Aおよび期間Bにおいて任意の変調電力でプラズマ放電を行ない、期間Bにおいて試料台に任意の変調電力でバイアスを印加し、期間Cにおいてはプラズマ放電とバイアス電力の印加を停止して材料を処理することである。

【0068】先ず、反応種が表面に吸着する第1の期間Aについて説明する。放電によりガスを反応性プラズマ化して反応種を表面に吸着させるのであるが、「発明が解決しようとする課題」において述べたように、イオン衝撃により形成されるリアクティヴ・スポットにおいて一個のイオンにより反応が活性化する吸着反応種の数(図1参照)には上限(N_0)がある。イオンエネルギーが*

$$dP/dt = -S \cdot P/V$$

ここで、tは排気時間、Sは実効排気速度、Vは処理室の容積である。(8)式の積分から、排出前の圧力； P_1 から圧力 P_2 に排気されるまでに要する時間tは次式で表※

$$t = (V/S) \ln(P_1/P_2)$$

ここで、ガス流量をQ、処理室内での滞在時間を τ とす★★ると、

$$\begin{aligned} \tau &= P \cdot V / Q \\ &= V / S \end{aligned}$$

であることから、(9)式は次のように書き替えられる。★★【0074】

$$t = \tau \ln(P_1/P_2)$$

さらに(12)式から、

$$P_2 = P_1 \cdot \exp(-t/\tau)$$

*大きいほどそのエネルギーにより反応活性となるリアクティヴ・スポット領域は広くなり、活性化する反応種の数も多くなるため、 N_0 はイオンエネルギー(即ちバイアス電力)に依存する量である。このリアクティヴ・スポットに N_0 の反応種が吸着するに要する時間をaとする。aは反応種の表面への入射フラックスに依存する量になる。期間Aの時間をaに設定すれば、図3-(1)に示すように、あるリアクティヴ・スポットに N_0 個の反応種が吸着するはずである。このとき、統計的には材料表面に一様に N_0 個の反応種が吸着することになる。

【0069】この期間Aの後、図3-(2)に示すように期間Bにおいて、吸着反応種と被エッティング材料の反応を促進するべくバイアス電力を印加して加速したイオンを表面に入射されれば、イオン一個当たり最大の収率でイオンアシスト反応を起こすことができる(図1参照)。従って、余分なイオン入射を抑制できるため、マスク材料や下地材料との選択性を向上させることができる。期間Bに最適な時間bはリアクティヴ・スポットに一個のイオンが入射した後、再びイオンが入射するまでの時間に相当し、イオン電流密度とリアクティヴ・スポット領域の面積によって決まる。この期間Bの時間をbに設定することにより、材料表面をリアクティヴ・スポットの面積で分割したときに、統計的には全分割領域にイオンが入射することになり、材料表面で一様にイオンアシスト反応が起きることになる。

【0070】次いで図3-(3)に示すように反応生成物が表面から脱離し排気される第3の期間Cを設ける。この時図2に示したように、放電は停止しているため反応生成物がプラズマ中で解離して材料表面に再付着することを抑制できる。これにより、次ぎの周期の期間Aのときに反応種の吸着効率が向上する。その結果、さらにエッティング収率を高めることができ、余分なイオン入射を抑制できるため、マスク材料や下地材料との選択性をさらに向上させることができる。この期間Cに最適な時間cについて説明する。

【0071】ガスの供給停止からガスが排出されるまでの処理室の圧力；Pの時間変化は(8)式で表される。

【0072】

(8)

ここで、tは排気時間、Sは実効排気速度、Vは処理室の容積である。(8)式の積分から、排出前の圧力； P_1 から圧力 P_2 に排気されるまでに要する時間tは次式で表※

【0073】

(9)

$$t = (V/S) \ln(P_1/P_2)$$

(10)

$$= V / S$$

(11)

であることから、(9)式は次のように書き替えられる。★★【0074】

(12)

$$t = \tau \ln(P_1/P_2)$$

(13)

$$P_2 = P_1 \cdot \exp(-t/\tau)$$

を得る。ここでガス流量Qをウェハ表面からの反応生成物の湧き出し量、 τ を反応生成物の処理室内での滞在時間とすると、期間Cでは反応生成物は生成されず、ただ脱離、排気のみされているため、期間Cの始まりをガス供給停止時と考えると、(13)式から期間Cにおける反応*

$$P_C = P_B \cdot \exp(-c/\tau)$$

即ち、反応生成物の分圧は図4に示すように変化する。従って、例えば期間Cの開始から滞在時間分経過すると、(14)式において $c = \tau$ であるから P_C は P_B の37%に減少する。 c をさらに 2τ 、 3τ とした場合、 P_C は P_B のそれぞれ14%、5%に減少する。従って、 c が長いほど次ぎの周期における期間Aでのエッチングに寄与する反応種の吸着効率が増加して、エッチング収率が増加する。このように適当な P_C を与える c は処理室中のガスの滞在時間、即ち処理室の容積と排気速度に関係する。従って、処理室の容積が小さいほど滞在時間は短くなり、必要な c も短くなる。また、排気速度が大きいほど滞在時間は短くなり、必要な c も短くなるのである。時間 c を滞在時間の3倍以上にしても、反応生成物の分圧の減少はわずかであり、時間 c の増加によるエッチング速度の減少を考慮すると、時間 c は滞在時間の3倍以下に設定することが適切である。

【0076】次ぎに、期間A、B、Cの時間a、b、cと周期(a+b+c)について説明する。ここでも、 Cl_2 ガスによるシリコンのエッチングを例にし、リアクティヴ・スポットの面積を 50A として、現状のエッチング装置を用いたエッチング条件の範囲で考える。

【0077】表面に入射する反応種は Cl_2 分子でこれがすべて解離吸着すると仮定し、期間Aの時間aを見積もる。aは表面入射 Cl_2 ガスフラックスすなわち Cl_2 ガス圧力によって決まるとして近似し、(4)~(7)式を用いると、低ガス圧の下限と考えられる $0.1[\text{mTorr}]$ ではaは約 $21[\text{msec}]$ であり、また、マイクロ波プラズマエッチング装置におけるガス圧力のほぼ上限と考えられる $50[\text{mTorr}]$ ではaは約 $0.04[\text{msec}]$ である。吸着効率が1以下であればこの見積りよりaは長くなる。

【0078】次に期間Bの時間bを見積もる。bはイオンエネルギー即ちバイアス電力にも依存するが、ほぼイオン電流密度によって決まるとして仮定すると、(1)~(3)式から、比較的低密度の $0.5[\text{mA/cm}^2]$ ではbは約 $64[\text{msec}]$ であり、大電力で放電を行なった場合のかなり高密度である $40[\text{mA/cm}^2]$ ではbは約 $0.8[\text{msec}]$ である。

【0079】期間Cの時間cは処理室中の反応生成物の滞在時間に関係する。例えば、低い実効総排気速度 $100[\text{liter/sec}]$ で比較的大きい容量 $100[\text{liter}]$ の処理室を排気した場合、(11)式から滞在時間は約 $285[\text{msec}]$ であり、実効総排気速度 $1300[\text{liter/sec}]$ で比較的小さな容量 $50[\text{liter}]$ の処理室を排気した場合、滞在時間は約 $39[\text{msec}]$ である。

【0080】以上の見積りから周期の最大値を考える。以

*生成物の分圧； P_C の時間 c による変化は、期間Bにおける反応生成物の分圧； P_B を用いて(14)式のように表される。

【0075】

上の見積りでは、aは最大 $21[\text{msec}]$ 程度、bは最大 $64[\text{msec}]$ 程度、cは 3τ 分排気したとして、最大 $855[\text{msec}]$ 程度である。合計から一周期は最大 $1[\text{sec}]$ 以下である。これは後で実施例において述べる現状のエッチング装置の条件から得られた実際的エッチングのための最大周期と考えられる。なぜなら、cをさらに長くすれば反応生成物の影響は減少して選択性は向上するが、反応生成物量の減少は図4に示したように、cに対して指数関数的減少であるため、cを長くしても反応生成物量の減少率は小さくなり、即ち選択性の増加率は飽和し、逆に脱離排気時間の極端な増大によるエッチング速度の低下が問題になると考えられるからである。

【0081】次に周期の最小値を考える。先の見積りではaは最小 $0.04[\text{msec}]$ 程度、bは最小 $0.8[\text{msec}]$ 程度である。ここで、c= 3τ とすると、仮に容積 $50[\text{liter}]$ の処理室を $10000[\text{liter/sec}]$ もの実効総排気速度を有する排気手段で排気したとしてもcは $15[\text{msec}]$ であり、aとbに対し脱離排気時間cの比率が大き過ぎてエッチング速度の極端な低下を招いてしまう。このような場合は、実際的なエッチング速度を得るために、c $\ll 3\tau$ として選択性の向上をある程度犠牲にする必要がある。従って、周期は最小値 $1[\text{msec}]$ 程度となる。

【0082】次に、実効総排気速度を変えて、標準的な容量 $70[\text{liter}]$ の処理室を排気した場合の周期について説明する。実効総排気速度を $500[\text{liter/sec}]$ とした場合、(11)式から $\tau = 140[\text{msec}]$ 、 $3\tau = 420[\text{msec}]$ である。a+bの最大値は $85[\text{msec}]$ 程度であるから、a+b+cは $505[\text{msec}]$ となる。先に述べたように、c $\leq 3\tau$ が適当であると考えられるので、この場合周期は $1[\text{msec}]$ 以上 $500[\text{msec}]$ 以下が適当である。実効総排気速度を $800[\text{liter/sec}]$ とした場合は、(11)式から $\tau = 87.5[\text{msec}]$ 、 $3\tau = 263[\text{msec}]$ である。a+bの最大値は $85[\text{msec}]$ 程度であるから、a+b+c=348[msec]となる。従って、この場合周期は $1[\text{msec}]$ 以上 $350[\text{msec}]$ 以下が適当である。実効排気速度を $1300[\text{liter/sec}]$ とした場合は、(11)式から $\tau = 53.8[\text{msec}]$ 、 $3\tau = 162[\text{msec}]$ である。a+bの最大値は $85[\text{msec}]$ 程度であるから、a+b+c=247[msec]となる。従って、この場合周期は $1[\text{msec}]$ 以上 $250[\text{msec}]$ 以下が適当である。

【0083】以上の説明では、吸着反応種と材料の反応を促進するために加速されて材料表面に照射される粒子をイオンとしたが、これが加速されたイオンに電荷を与えることにより得られる中性粒子ビームであっても上記の本発明の作用は本質的には同じである。

【0084】以上述べた作用により、反応種の吸着過程、加速された粒子により促進される吸着反応種と材料の反応過程、反応生成物の脱離排気過程というエッティング素過程を1[msec]以上1[sec]以下の周期で高速分離し、この処理過程を周期的に行なう本発明の方法でエッティング収率が増加し、イオン入射量を必要最低限にできるため、マスク材料や下地材料のエッティングを抑制して選択性を高めることができる。

【0085】次に第2の手段、即ち処理室内の試料台にウェハを載置し、前記処理室を排気手段によって所望の真空中に排気し、前記処理室にガス導入手段によって材料処理ガスを導入し、プラズマ放電手段によって前記導入されたガスをプラズマ化し、該プラズマによりウェハ上に形成された材料を処理する表面処理方法において、処理過程が、反応種が表面に吸着する過程および吸着反応種と材料の反応を促進するべく加速された粒子が表面に照射される過程を含む第1の期間D、次いで反応生成物が表面から脱離し排気される第2の期間Eとからなり、かつこのD、Eの期間からなる処理過程を1[msec]以上1[sec]以下の周期で周期的に行なうことを特徴とする表面処理方法の作用を説明する。

【0086】本方法は、吸着反応種と材料の反応を促進するべく加速され表面に照射する粒子をイオンとした場合、図5に示すようにバイアス印加電力は一定とし、期間Dにおいてプラズマ放電電力を投入し、期間Eにおいて放電を停止する方法である。本方法はまた、吸着反応種と材料の反応を促進するべく加速され表面に照射する粒子を中性粒子ビームとした場合、電荷を与えて中性化すべく引出すイオンの加速電圧を一定とし、放電を図5に示したように周期的に行なう方法である。

【0087】本方法は、図3に示したエッティング素過程のうち期間Dにおいて反応種吸着過程(1)と加速粒子入射過程(2)が混在している方法である。従って、常に反応種が十分に吸着している領域にイオンあるいは中性粒子ビームを入射させるわけではないので、その分第1の手段に比べてエッティング収率は低下し、マスク材料や下地材料との選択性は小さくなる。しかし、期間Eにおいて放電を停止して反応生成物の脱離排気を行なっているため、反応生成物の再付着を低減することができる。従って、期間Dにおけるラジカルの吸着効率は増加し、時間変調せずに連続的にエッティングを行なう場合に比べてマスク材料や下地材料との選択性を向上させることができる。

【0088】次に第3の手段、即ち処理室内の試料台にウェハを載置し、前記処理室を排気手段によって所望の真空中に排気し、前記処理室にガス導入手段によって材料処理ガスを導入し、プラズマ放電手段によって前記導入されたガスをプラズマ化し、該プラズマによりウェハ上に形成された材料を処理する表面処理方法において、処理過程が、反応種が表面に吸着する過程および表面に

生成した反応生成物が表面から脱離し排気される過程を含む第1の期間F、次いで吸着反応種と材料の反応を促進するべく加速された粒子が表面に照射される第2の期間Gとからなり、かつこのF、Gの期間からなる処理過程を1[msec]以上1[sec]以下の周期で周期的に行なうことを特徴とする表面処理方法の作用を説明する。

【0089】本方法は、吸着反応種と材料の反応を促進するべく加速され表面に照射する粒子をイオンとした場合、図6に示すように放電電力は一定とし、期間Fにおいてはバイアス電力は印加せず、期間Gにおいてバイアス電力を印加する方法である。本方法はまた、吸着反応種と材料の反応を促進するべく加速され表面に照射する粒子を中性粒子ビームとした場合、放電電力は一定とし、電荷を与えて中性化すべく引出すイオンの加速電圧を期間Gにおいてのみ印加して、プラズマからイオンを引出して加速することを周期的に行なう方法である。

【0090】本方法は、図3に示したエッティング素過程のうち期間Fにおいて反応種吸着過程(1)と前の周期の期間Gにおいて生成した反応生成物の脱離排気過程(3)が混在している方法である。従って、期間Fにおいて反応生成物がプラズマ中で解離して材料表面に再付着するため、期間Fにおけるラジカルの吸着効率は減少する。その分第1の手段に比べてエッティング収率は低下し、マスク材料や下地材料との選択性は小さくなる。しかし、図3に示した反応種吸着過程(1)と加速粒子入射過程(2)は分離しているため時間変調せずに連続的にエッティングを行なう場合に比べてエッティング収率は向上し、マスク材料や下地材料との選択性を向上させることができる。

【0091】以上述べてきた本発明は、エッティング処理過程を、主として反応種が表面に吸着する過程、次いで吸着反応種と材料の反応を促進するべく加速された粒子が表面に照射される過程、反応生成物が表面から脱離し排気される過程とに時間分離するか、もしくはこれら3つの過程のうち少なくとも一つを時間分離して、これらの過程からなる処理過程を1[msec]以上1[sec]以下の周期で周期的に行なうことによりエッティングの選択性を向上させる方法である。この方法は、同一のガスプラズマにおいて、イオンアシスト反応の起きるリアクティヴ・スポットへのイオンの入射間隔、表面入射反応種が吸着してリアクティヴ・スポットが被覆される時間、および反応生成物が排気される時間等の気相の原子分子あるいはイオンの運動に関わるような時間スケールに追従するべく周期を合わせ、かつ余分な時間的消費がなく、スムーズに繰返しエッティング処理を行なうため、イオンアシスト反応の効率を最大限に上げることができ、かつエッティング速度の極端な低下を防止することができる。

さらに、処理室内のガス滞在時間と組み合わせて時間変調を行なう点において、従来技術の項に記述したような、プラズマ放電、バイアス印加、およびガス導入をそれぞれ単独で時間変調したり、また組み合わせて単

に同期をとつて時間変調した方法と本発明の方法は異なる。

【0092】

【実施例】以下、本発明を実施例を用いて詳細に説明する。

【0093】実施例1

図7は本発明の表面処理装置をマイクロ波プラズマエッティング装置において実施した例である。

【0094】この表面処理装置はロードロック機構を備えており、処理室18とウェハ交換室22はゲートバルブ28によって分離されており、それぞれが独立に真空排気される。ウェハ処理室18はターボ分子ポンプ4、メカニカルプースターポンプ5およびロータリーポンプ27の組み合わせによって排気される。排気速度はバルブ17のコンダクタンスを変えることにより、最大3000[liter/sec]までの実効総排気速度が得られる。この排気手段の実効総排気速度は必要に応じて500[liter/sec]以上、もしくは800[liter/sec]以上、もしくは1300[liter/sec]以上のものを用いればよい。被処理ウェハ6はウェハ交換室2から搬送系21によって処理室18に搬送される。被処理ウェハ6を試料台8に載置する際には試料台上下機構14によって試料台8が上下される。被処理ウェハ6はウェハ固定用のピン(図示せず)および静電チャックにより試料台8に固定される。

【0095】プラズマ放電手段について説明する。放電発生用電源30は時間変調制御器1により制御され、時間変調制御器1の出力信号に従い、1[sec]以下の周期で時間変調された出力電力を間歇的かつ周期的にマグネットロンに印加する。放電発生用電源30から供給された時間変調した電力によりマグネットロン20で励起されたマイクロ波は導波管19に導かれて処理室18内の放電管23に時間変調したプラズマ7を発生させる。ソレノイドコイル29は電子サイクロトロン共鳴によって励起効率を高める働きをする。

【0096】バイアス印加手段について説明する。バイアス電源16は時間変調制御器1により制御され、時間変調制御器1の出力信号に従い、1[sec]以下の周期で時間変調された出力バイアス電力を整合器35を通して間歇的かつ周期的に試料台8に印加する。バイアス電源16は交流電源で、本実施例では周波数400kHzのものを用いている。しかし、周波数は特に400kHzに限定されたものではなく、例えば13.56MHzや2MHzあるいは他の周波数のものでもよい。また、バイアス電源16は外部入力により出力電圧変調のできる直流電源でもよい。エッティングの仕様に合わせて最適な周波数の電源を選択すればよい。

【0097】時間変調制御器1は複数の出力チャンネルを有し、各出力チャンネルの信号は各チャンネル毎に独立に任意の波形、かつ任意の位相で同期をとつて設定可能である。この時間変調制御器1により任意の電力で放電変調を行ない、かつ任意の電力でバイアス変調を行な

い、かつ放電変調とバイアス変調を任意の位相で同期をとつて行なうことができる。時間変調制御器1としては、任意波形発生器、もしくはパルスジェネレーターの如きものを用いるか、これらとコンピューターを組み合わせたものでもよい。

【0098】ガス導入手段について説明する。ガスボンベ2内の放電用ガスはレギュレーター12を通りガス流量調整手段3により所望の流量に調整され、ガス導入手段11を通して処理室18内に導入される。ガス導入手段はその系統数を必要に応じて変えればよい。

【0099】試料台8はその下部に冷媒10のタンクを備えており、絶縁物15を介してウェハ処理室18と接続している。試料台8に載置された被処理ウェハ6は試料台8に内蔵されたヒーター9および試料台8下部に導入された冷媒10によって温度調節される。冷媒は冷媒供給器24によって試料台8下部に供給される。被処理ウェハ6の温度は温度センサー13によって裏面温度が測定され、温度調節器25によってモニターされる。温度調節器25は温度モニターをしながら冷媒供給器24の冷媒供給量およびヒーター電源26の供給電力を制御して被処理ウェハ6の温度調節を行なう。冷媒としてはフロンガス系の冷媒、液体窒素、もしくは冷却水が用いられる。被処理ウェハ6の裏面と試料台8の間には熱交換の効率を上げるために微量のヘリウムガスが流されている。

【0100】以上説明した表面処理装置を用いて、表面処理を実施した例を以下に述べる。本実施例は、Cl₂ガスを用いて多結晶シリコンをエッティングした例である。試料には、シリコン基板上に熱酸化膜を形成し、その上に多結晶シリコン層を形成して、ホトレジストマスクをバーチンニングしたものを用いた。処理条件は、Cl₂ガスの流量を100[sccm]、圧力を0.5[mTorr]に設定した。この時の実効総排気速度は2530[liter/sec]である。放電電力は400[W]、バイアス電力は20[W]とし、処理時間中の試料温度を20°Cに調節した。

【0101】放電電力とバイアス電力は図2に示したように同期をとつて変調を行なった。この変調方法における期間A、B、Cの各時間a、b、cの設定方法について説明する。先ず、設定ガス圧力から、従来技術の項に記述したような見積り方法によりリアクティヴ・スポットへのガスの平均入射間隔を計算して近似的なaの値を決める。前述の見積りでは、Cl₂が0.5[mTorr]のときリアクティヴ・スポット全面がCl原子により被覆されるまでの時間は4.2[msec]以上であった。次に、イオン電流密度を測定し、従来技術の項に記述したような見積り方法によりリアクティヴ・スポットへのイオンの平均入射間隔を計算して近似的なbの値を決める。本実施例の条件で測定したイオン電流密度は3.2[mA/cm²]であった。このときリアクティヴ・スポットへのイオンの平均入射間隔は10.8[msec]である。このような方法でえられたaとbの値を参考にし、またエッティング速度と選択性を考

慮して a と b の最適値を実験によって決めればよい。期間 C については、c が長いほど排気される反応生成物量は多くなるが、あまり長くすると 1 周期が長くなりエッチング時間が長くなつてエッチング速度の低下をもたらす。そこで、c もエッチング速度と選択性を考慮して最適値を実験によって決めればよい。本実施例では処理室の容積は 70 [liter] で、流量 100 [scm]、圧力 0.5 [mTorr] の場合、滞在時間 τ は 28 [msec] である。

【0102】期間 B の時間 b を 12 [msec]、期間 C の時間 c を 28 [msec] に固定し、期間 A の時間 a を変えて多結晶シリコンのエッチングを行なつたときのレジストマスクと下地酸化膜に対する選択性を図 8 に示す。a の増加と共に対レジストと対酸化膜の選択性は増加し、a = 16 [msec] 以上で飽和した。a を必要以上に長くしても反応種の吸着ばかりで、イオンアシスト反応は起こらず、エッチング速度が低下してしまう。そこで、次に時間 a は 16 [msec]、時間 c を 28 [msec] に固定し、期間 B の時間 b を変えて、多結晶シリコンのエッチングを行なつた。このときのレジストマスクと下地酸化膜に対する選択性を図 9 に示す。b の増加と共に対レジストと対酸化膜の選択性は増加し、b = 20 [msec] で極大となり、それ以上では減少した。時間 b を長くすることは、放電とバイアス電力の印加を時間変調せずに連続的に行なう場合に近づくことであり、必要以上に b を長くすることは再び選択性の低下をもたらす。放電電力は 400 [W]、バイアス電力は 20 [W] で他の条件は同じにして、放電とバイアス印加を連続的に行なつたときの選択性は、対レジストが 4、対酸化膜が 20 であった。

【0103】次に、期間 A の時間 a を 16 [msec]、期間 B の時間 b を 20 [msec] に固定し、期間 C の時間 c を変えて、多結晶シリコンのエッチングを行なつた。このときのレジストマスクと下地酸化膜に対する選択性を図 10 に示す。c の増加と共に選択性は増加していくが、徐々に飽和していく。ここでは、時間 c を滞在時間の 3 倍まで変化させた。先に「作用」の項で述べたように、時間 c を滞在時間の 3 倍とすると、反応生成物は 5% にまで減少する。その後の減少の仕方は指數関数的であり c を長くとっても反応生成物の減少の仕方は緩やかになつてしまふ。その結果が、図 10 において c の増加による選択性の飽和に現れている。このように、時間 c を滞在時間の 3 倍以上にしても、選択性の増加はわずかであり、時間 c の増加によるエッチング速度の減少を考慮すると、時間 c は滞在時間の 3 倍以下に設定することが適切である。

【0104】実効総排気速度を 500 [liter/sec] とした場合について説明する。処理室の容積は 70 [liter] であるから、ガスの滞在時間は (11) 式から 140 [msec] であり、その 3 倍は 420 [msec] である。Cl₂ ガスの圧力を 0.1 [mTorr] に設定し、放電電力は 100 [W]、バイアス電力は 50 [W] として多結晶シリコンのエッチングを行なつた。試料は

前述のものと同様のものを用いた。その結果、a を 30 [msec]、b を 70 [msec]、c を 400 [msec] に設定したときに、エッチング速度が極端に低下することなく、レジストマスクおよび下地酸化膜との選択性は最大となつた。この時の周期は 500 [msec] である。

【0105】実効総排気速度を 800 [liter/sec] とした場合について説明する。処理室の容積は 70 [liter] であるから、ガスの滞在時間は (11) 式から 87.5 [msec] であり、その 3 倍は 263 [msec] である。Cl₂ ガスの圧力を 0.1 [mTorr] に設定し、放電電力は 100 [W]、バイアス電力は 50 [W] として多結晶シリコンのエッチングを行なつた。試料は前述のものと同様のものを用いた。その結果、a を 26 [msec]、b を 70 [msec]、c を 254 [msec] に設定したときに、エッチング速度が極端に低下することなく、レジストマスクおよび下地酸化膜との選択性は最大となつた。この時の周期は 350 [msec] である。

【0106】実効総排気速度が 1300 [liter/sec] とした場合について説明する。処理室の容積は 70 [liter] であるから、ガスの滞在時間は (11) 式から 54 [msec] であり、その 3 倍は 162 [msec] である。Cl₂ ガスの圧力を 0.1 [mTorr] に設定し、放電電力は 100 [W]、印加バイアス電力は 50 [W] として多結晶シリコンのエッチングを行なつた。試料は前述のものと同様のものを用いた。その結果、a を 22 [msec]、b を 70 [msec]、c を 158 [msec] に設定したときに、エッチング速度が極端に低下することなく、レジストマスクおよび下地酸化膜との選択性は最大となつた。この時の周期は 250 [msec] である。

【0107】以上の例で、a はガス圧力に關係し、ガス圧力が大きくなるほど短くなる。また、b は放電電力に依存し、放電電力が大きくなるほど入射イオンフラックスが大きくなるため時間 b は短くなる。

【0108】次に、本発明に関する装置で、図 7 に示した装置と同じ構成で処理室の容積が 100 [liter] のものを用いて本発明の方法を実施した例について説明する。排気手段として実効総排気速度が 350 [liter/sec] のものを用いた。ガスの滞在時間は (11) 式から 286 [msec] であり、その 3 倍は 857 [msec] である。Cl₂ ガスの圧力を 0.1 [mTorr] に設定し、放電電力は 100 [W]、印加バイアス電力は 50 [W] として多結晶シリコンのエッチングを行なつた。試料は前述のものと同様のものを用いた。その結果、a を 70 [msec]、b を 80 [msec]、c を 850 [msec] に設定したときに、エッチング速度が極端に低下することなく、レジストマスクおよび下地酸化膜との選択性は最大となつた。この時の周期は 1 [sec] である。a はガス圧力に關係し、ガス圧力が大きくなるほど短くなる。また、b は放電電力に依存し、放電電力が大きくなるほど入射イオンフラックスが大きくなるため時間 b は短くなる。

【0109】次に図 7 に示した装置を用いて、大電力の放電を行なつた場合の本発明の実施例を説明する。放電電力を 5 [kW]、バイアス電力を 50 [W] として、Cl₂ ガスの

流量を200[sccm]、圧力を50[mTorr]として多結晶シリコンのエッティングを行なった。このとき、(10)式と(11)式から実効総排気速度は約127[liter/sec]、ガスの滞在時間は約553[msec]である。試料は前述のものと同様なものを用いた。その結果、aは0.1[msec]、bは0.8[msec]でcが長いほどレジストマスクおよび下地酸化膜との選択比が大きくなつた。しかし、この場合滞在時間がaとbに比べて極端に長いため、前述した例のように時間cを3τにしたりするとエッティング時間に対する排気時間の比率が大きくなりすぎてエッティング速度が極端に低下してしまう。この例の場合ではa+bで0.9[msec]であるからc=τとしてもa+b<cとなつてしまう。実際的なエッティング速度を得るためにには0.1[msec]から5[msec]の間にcを設定する必要があった。この例のようなことはガス圧力と放電電力が大きい場合に起る。処理室の容積が70[liter]の場合、滞在時間を5[msec]にするためには14000[liter/sec]もの実効総排気速度が必要である。このため、この例のような場合には、実際的なエッティング速度を得るために期間Cを設けたことによる選択比の増加を犠牲にする必要が生じる。従つて、実効総排気速度500[liter/sec]、800[liter/sec]、1300[liter/sec]の各場合について周期は1[msec]以上となる。

【0110】以上のように、時間aと時間bは主としてガス圧力、放電電力等のエッティング条件によって変化するが、実効総排気速度を500[liter/sec]以上、800[liter/sec]以上、1300[liter/sec]以上とした場合、時間変調の周期はそれぞれ1[msec]以上500[msec]以下、1[msec]以上350[msec]以下、1[msec]以上250[msec]以下が適当であった。

【0111】本実施例では、Cl₂ガスを用いた多結晶シリコンのエッティングを行なう例で説明したが、本実施例の方法は他のガスにより多結晶シリコンのエッティングを行なう場合や、また他の材料のエッティングを行なう場合にも有効である。

【0112】例えば、Cl₂ガスを用いた単結晶シリコンのエッティングにおいても、本実施例の方法によりレジストマスクとの選択性が向上した。

【0113】また、C₄F₈ガスを用いたシリコン酸化膜(SiO₂、あるいはBPSG)のエッティングにおいても、本実施例の方法によりレジストマスク、および下地の多結晶シリコン、あるいはシリコン窒化膜(Si₃N₄)との選択性が向上した。

【0114】また、CH₃Fガスを用いたシリコン窒化膜(Si₃N₄)のエッティングにおいても、本実施例の方法によりレジストマスク、および下地のSiO₂との選択性が向上した。

【0115】さらに、BCl₃ガスを用いたアルミニウム(A1)のエッティングにおいても、本実施例の方法によりレジストマスク、および下地のSiO₂との選択性が向上した。

【0116】これら各種材料のエッティングに際して、時

間a、b、cの最適な設定値は、エッティングガスと材料の組合せ、またエッティング条件によって異なるため、本実施例において既に述べたように実験により目的に応じて最適値を見出せばよい。

【0117】図7に示した本実施例の装置の試料台には試料の温調機構がついている。これを用いて試料温度を調節することにより、反応種が表面に吸着する時間aを調節することができる。すなわち、物理吸着は低温ほど促進されるため、試料温度を低温にするほど時間aを短くすることができる。

【0118】本実施例は、マスク材料および下地材料との選択比を向上させる効果がある。

【0119】実施例2

図11は本発明の表面処理装置をマイクロ波プラズマエッティング装置において実施した他の例である。本装置は放電手段とバイアス印加手段の時間変調制御方法以外は実施例1において説明し図7に示した装置と同じである。

【0120】本装置のプラズマ放電手段について説明する。放電発生用電源30は時間変調制御器1により制御され、時間変調制御器1の出力信号に従い、1[sec]以下の周期で時間変調された出力電力を間歇的かつ周期的にマグネットロンに印加する。放電発生用電源30から供給された時間変調した電力によりマグネットロン20で励起されたマイクロ波は導波管19に導かれて表面処理室18内の放電管部23に時間変調したプラズマ7を発生させる。その他の部分は実施例1で説明した図7に示す装置と同様であるため説明を省略する。ただし、バイアス印加用電源16は時間変調制御器によって制御されず、バイアスは常に一定の電力で連続的に印加される。

【0121】以上説明した表面処理装置を用いて、Cl₂ガスを用いて多結晶シリコンをエッティングした例を以下に述べる。試料には、シリコン基板上に熱酸化膜を形成し、その上に多結晶シリコン層を形成して、ホトレジストマスクをパターンニングしたものを用いた。試料温度は処理時間中20°Cに温度調節した。放電の時間変調の方法は、図5に示したように時間d有する期間Dで放電し、その後の時間e有する期間Eで放電を停止する。この場合は、矩形波的に電力を時間変調した例である。時間dと時間eの設定方法について説明する。反応生成物の排気を行なう時間eについては、実施例1で説明したように滞在時間の3倍以下が適当である。エッティングを行なう時間dは必要以上に長くすると、期間Eを設けて頻繁に反応生成物を排気するという本方法の効果が小さくなる。被処理表面で一様にイオンアシスト反応が起るに必要な時間をdに設定すればよいと考えられる。これは、実施例1で説明した図2に記載の期間Bに時間bに相当するが、本方法では、実施例1のように期間Aと期間Bに分けることによって反応種を十分に吸着させてからイオンアシスト反応を起こすという方法をとっていないため、エッティングの収率が実施例1の方法に比べて

小さい。そこで時間dは時間bよりも長くとることが適当であり、次の条件でエッティング処理を行なった。

【0122】実効総排気速度が500[liter/sec]の排気手段を用い、ガス圧を0.1[mTorr]に設定し、放電電力は100[W]、印加バイアス電力は50[W]とした。その結果、時間dを100[msec]、時間eを400[msec]に設定し多結晶シリコンをエッティングしたときに、エッティング速度が極端に低下することなく。レジストマスクおよび下地酸化膜との選択比は最大となった。この時の周期は500[msec]である。

【0123】次に、実効総排気速度が800[liter/sec]の排気手段を用い、ガス圧を0.1[mTorr]に設定し、放電電力は100[W]、印加バイアス電力は50[W]とした。その結果、時間dを95[msec]、時間eを255[msec]に設定し多結晶シリコンをエッティングしたときに、エッティング速度が極端に低下することなく。レジストマスクおよび下地酸化膜との選択比は最大となった。この時の周期は350[msec]である。

【0124】また、実効総排気速度が1300[liter/sec]の排気手段を用い、ガス圧を0.1[mTorr]に設定し、放電電力は100[W]、印加バイアス電力は50[W]とした。その結果、時間dを90[msec]、時間eを160[msec]に設定し多結晶シリコンをエッティングしたときに、エッティング速度が極端に低下することなく。レジストマスクおよび下地酸化膜との選択比は最大となった。この時の周期は250[msec]である。

【0125】ここで、期間Dに要する時間dは、ガス圧力が高いほど、また放電電力が大きくイオンの入射フラックスが大きいほど短くなる。このとき時間eがdに比べ極端に長いと、実施例1において述べたようにエッティング速度の低下をもたらす。その場合は、eをdと同程度の時間領域に設定すればよい。放電電力が大きい場合、期間Eの役割は反応生成物の排気だけではなく、大電力プラズマによる処理室および試料の加熱を防止する。即ち、間歇的放電により、試料が加熱して選択性が低下することを防止できる。実際に、Cl₂ガスの圧力を20[mTorr]にし、放電電力は3000[W]、印加バイアス電力は100[W]、dを0.5[msec]、eを0.5[msec]に設定して多結晶シリコンをエッティングした結果、連続放電の場合に比べ、レジストマスクおよび下地酸化膜との選択比は増大した。

【0126】以上のように、時間dと時間eはガス圧力、放電電力、排気速度等のエッティング条件によって変化するが、実効総排気速度を500[liter/sec]以上、800[liter/sec]以上、1300[liter/sec]以上とした場合、時間変調の周期(d+e)はそれぞれ1[msec]以上500[msec]以下、1[msec]以上350[msec]以下、1[msec]以上250[msec]以下が適当である。

【0127】本実施例では、Cl₂ガスを用いた多結晶シリコンのエッティングを行なう例で説明したが、本実施例

の方法は他のガスにより多結晶シリコンのエッティングを行なう場合や、また他の材料のエッティングを行なう場合にも有効である。

【0128】例えば、Cl₂ガスを用いた単結晶シリコンのエッティングにおいても、本実施例の方法によりレジストマスクとの選択性が向上した。

【0129】また、C₄F₈ガスを用いたシリコン酸化膜(SiO₂、あるいはBPSG)のエッティングにおいても、本実施例の方法によりレジストマスク、および下地の多結晶シリコン、あるいはシリコン窒化膜(Si₃N₄)との選択性が向上した。

【0130】また、CH₃Fガスを用いたシリコン窒化膜(Si₃N₄)のエッティングにおいても、本実施例の方法によりレジストマスク、および下地のSiO₂との選択性が向上した。

【0131】さらに、BCl₃ガスを用いたアルミニウム(Al)のエッティングにおいても、本実施例の方法によりレジストマスク、および下地のSiO₂との選択性が向上した。

【0132】これら各種材料のエッティングに際して、時間d、eの最適な設定値は、エッティングガスと材料の組合せ、またエッティング条件によって異なるため、本実施例において既に述べたように実験により目的に応じて最適値を見出せばよい。

【0133】図11に示した本実施例の装置の試料台には試料の温調機構がついている。これを用いて試料温度を調節することにより、反応種が表面に吸着する時間を調節することができる。すなわち、物理吸着は低温ほど促進されるため、試料温度を低温にするほど時間dを短くすることができる。

【0134】本実施例は、マスク材料および下地材料との選択比を向上させる効果がある。

【0135】実施例3

図12は本発明の表面処理装置をマイクロ波プラズマエッティング装置において実施した例である。

【0136】本装置のバイアス印加手段について説明する。バイアス印加用電源16は時間変調制御器1により制御され、時間変調制御器1の出力信号に従い、1[msec]以上1[sec]以下の周期で時間変調された出力電力を整合器35を通して間歇的かつ周期的に試料台8に印加する。

40 この方法により、試料表面には1[msec]以上1[sec]以下の周期でエネルギーが時間変調されたイオンが入射する。その他の部分は実施例1で説明した図7に示す装置と同様であるため説明を省略する。ただし、放電発生用電源30は時間変調制御器によって制御されず、放電は常に一定の電力で連続的に行なわれる。また、処理室の容積は70[liter]である。

【0137】以上説明した表面処理装置を用いて、Cl₂ガスを用いて多結晶シリコンをエッティングした例を以下に述べる。試料には、シリコン基板上に熱酸化膜を形成し、その上に多結晶シリコン層を形成して、ホトレジス

トマスクをパターンニングしたものを用いた。試料温度は処理時間中20°Cに温度調節した。バイアス電力の時間変調の方法は、図6に示すように時間fを有する期間Fでバイアス印加を停止し、その後の時間g有する期間Gで放電を停止する。この場合は、矩形波的に電力を時間変調した例である。すなわち、期間Fで前の周期における期間G出生成した反応生成物を排気しながら、反応種を十分に吸着させた後、期間Gでイオンアシスト反応を起こし、エッティングの収率を高めるのである。時間fと時間gの最適値の設定方法は、それぞれのエッティング条件に応じて実験により求めてやればよい。

【0138】実効総排気速度を500[liter/sec]とし、Cl₂ガスの圧力を0.1[mTorr]、放電電力を100[W]、印加バイアス電力は50[W]として多結晶シリコンのエッティングを行なった結果、fが420[msec]、gが80[msec]のときにエッティング速度が極端に低下することなく、レジストマスクおよび下地酸化膜との選択比は向上した。この時の周期は500[msec]である。

【0139】次に実効総排気速度を800[liter/sec]とし、Cl₂ガスの圧力を0.1[mTorr]、放電電力を100[W]、印加バイアス電力は50[W]として多結晶シリコンのエッティングを行なった結果、fが270[msec]、gが80[msec]のときにエッティング速度が極端に低下することなく、レジストマスクおよび下地酸化膜との選択比は向上した。この時の周期は350[msec]である。

【0140】次に実効総排気速度を1300[liter/sec]とし、Cl₂ガスの圧力を0.1[mTorr]、放電電力を100[W]、印加バイアス電力は50[W]として多結晶シリコンのエッティングを行なった結果、fが170[msec]、gが80[msec]のときにエッティング速度が極端に低下することなく、レジストマスクおよび下地酸化膜との選択比は向上した。この時の周期は250[msec]である。

【0141】fはガス圧力が高く反応種の入射フラックスが大きいほど短くなり、また反応生成物の滞在時間が短いほどfは短くなる。またgは放電電力が大きく入射イオンの電流密度が大きいほど短くなる。

【0142】本実施例では、実施例1のように放電を間歇的に停止して反応生成物の排気を行なうことをしていない。そのため、反応生成物が解離して試料表面に吸着し、反応種の吸着を妨げることを防止できない。従って、実施例1の方法よりもエッティング収率は低い。しかし、反応生成物の存在量は排気速度が大きくなるほど小さくため、排気速度を大きくすることによってこの反応生成物の吸着の効果を抑制できる。

【0143】本実施例では、Cl₂ガスを用いた多結晶シリコンのエッティングを行なう例で説明したが、本実施例の方法は他のガスにより多結晶シリコンのエッティングを行なう場合や、また他の材料のエッティングを行なう場合にも有効である。

【0144】例えば、Cl₂ガスを用いた単結晶シリコン

のエッティングにおいても、本実施例の方法によりレジストマスクとの選択性が向上した。

【0145】また、C₄F₈ガスを用いたシリコン酸化膜(SiO₂、あるいはBPSG)のエッティングにおいても、本実施例の方法によりレジストマスク、および下地の多結晶シリコン、あるいはシリコン窒化膜(Si₃N₄)との選択性が向上した。

【0146】また、CH₃Fガスを用いたシリコン窒化膜(Si₃N₄)のエッティングにおいても、本実施例の方法によりレジストマスク、および下地のSiO₂との選択性が向上した。

【0147】さらに、BCl₃ガスを用いたアルミニウム(Al)のエッティングにおいても、本実施例の方法によりレジストマスク、および下地のSiO₂との選択性が向上した。

【0148】これら各種材料のエッティングに際して、時間f、gの最適な設定値は、エッティングガスと材料の組合せ、またエッティング条件によって異なるため、本実施例において既に述べたように実験により目的に応じて最適値を見出せばよい。

【0149】図12に示した本実施例の装置の試料台には試料の温調機構がついている。これを用いて試料温度を調節することにより、反応種が表面に吸着する時間を調節することができる。すなわち、物理吸着は低温ほど促進されるため、試料温度を低温にするほど時間fを短くすることができる。

【0150】本実施例は、マスク材料および下地材料との選択性を向上させる効果がある。

【0151】実施例4

本実施例では、放電電力の投入を間歇的かつ周期的に行ない、かつその間歇的電力投入期間においてさらに電力変調を行なう方法について説明する。

【0152】これは図13に示したように、期間AとBにおいて放電を行ない、期間Bにおいてバイアス印加を行なう本実施例の方法は、基本的には実施例1において説明した方法と同じであるが、本実施例ではさらに、期間AとBにおける放電時に図13に示した如く放電電力を変調するものである。あるいは実施例2において説明した図5に示した放電の時間変調において、期間D内においてさらに放電電力を変調するものである。この更なる変調の周期をhとする。hはaあるいはdよりも短い。周期hを1[msec]以下、例えば、数10[μsec]程度になると、プラズマ中で生成するイオン、およびラジカルの種類や生成種間の生成量の比を変えることができる。周期hにおける電力の変調方法は任意の変調である。

【0153】本実施例の方法を例えばマイクロ波プラズマエッティング装置で実施する場合、マイクロ波発生源としてはマグネットロンよりもサイクロトロンを用いた方が時間変調の分解能が高い。

【0154】本実施例の方法を、例えばCHF₃ガスによるシリコン酸化膜のエッティングに適用する場合について説

明する。 CHF_3 からプラズマ中で生成するラジカルにはエッティングと重合膜の堆積の両方に寄与する CF_2 の如きものや、エッティングのみに寄与するFのようなものがある。そこで、本実施例の方法を適用すれば、マスク材料や下地材料との選択性を向上できるとともに、生成するイオン、およびラジカルの種類や生成種間の生成量の比を変えることにより、エッティングと堆積の強さを制御することができる。周期hの長さや、周期h内での放電電力の変調方法、さらに時間a、b、cは所望のエッティング特性が得られるように処理条件によって決定すればよい。

【0155】本実施例の方法は、プラズマ中で生成するイオン、およびラジカルの種類や生成種間の生成量の比を変える効果と、マスク材料および下地材料との選択性を向上させて異方性も向上させる効果がある。

【0156】実施例6

本実施例では、バイアス電力の印加を間歇的かつ周期的に行ない、かつその間歇的バイアス電力印加期間においてさらに電力変調を行なう方法について説明する。

【0157】これは図14に示したように、期間AとBにおいて放電を行ない、期間Bにおいてバイアス印加を行なう本実施例の方法は、基本的には実施例1において説明した方法と同じであるが、本実施例ではさらに、期間Bにおけるバイアス電力印加時に図14に示した如くバイアス電力を変調するものである。あるいは実施例3において説明した図6に示したバイアス印加の時間変調において、期間G内においてさらにバイアス電力を変調するものである。この更なる変調の周期をiとする。iはbあるいはgよりも短い。周期iを1[msec]以下にすると、試料表面に電荷が蓄積されることを防止できる。

【0158】本実施例の方法において、バイアス電源は高周波電源でも、あるいは直流電源の出力電力を変調したものでもよい。

【0159】本実施例の方法を、 Cl_2 ガスによる多結晶シリコンのエッティングに適用した場合について説明する。試料には、シリコン基板上に熱酸化膜を形成し、その上に多結晶シリコン層を形成して、ホトレジストマスクをパターンニングしたものを用いた。 Cl_2 ガスによる多結晶シリコンのエッティングでは、下地の酸化膜層が露出するとオーバーエッティング時に酸化膜との界面近傍に通称ノッティングと呼ばれる異常加工形状のサイドエッティングが生じることが知られている。これは表面に電荷が蓄積したことにより、入射イオンの軌道が酸化膜界面近傍で横に曲がる結果であると考えられている。本実施例の方法により、マスク材料や下地材料との選択性が向上するとともに、連続的にバイアスを印加している場合に生じていたノッティングを防止することができた。ここで、周期iの長さや、周期i内でのバイアス電力の変調方法、さらに時間a、b、cは所望のエッティング特性が得られるように処理条件によって決定すればよい。

【0160】本実施例の方法は、材料表面に電荷が蓄積されることを防止する効果と、マスク材料および下地材料との選択性を向上させて異方性も向上させる効果がある。

【0161】実施例7

図15は本発明の表面処理装置を中性粒子ビームアシストエッティング装置において実施した例である。

【0162】この表面処理装置はロードロック機構を備えており、処理室18とウェハ交換室22はゲートバルブ28によって分離されており、それぞれが独立に真空排気される。排気手段および試料台は実施例1において説明した図7に示した装置と同等であるためここで説明を省力する。

【0163】プラズマ放電手段について説明する。放電発生用電源30は時間変調制御器1により制御され、時間変調制御器1の出力信号に従い、1[sec]以下の周期で時間変調された出力電力を間歇的かつ周期的にマグネットロンに印加する。放電発生用電源30から供給された時間変調した電力によりマグネットロン20で励起されたマイクロ波は導波管19に導かれて処理室18内の放電管23に時間変調したプラズマ7を発生させる。ソレノイドコイル29は電子サイクロトロン共鳴によって励起効率を高める働きをする。

【0164】ガス導入手段について説明する。ガスボンベ2内の反応種供給用ガスはレギュレーター12を通りガス流量調整手段3により所望の流量に調整され、ガス導入バルブ11を通して表面処理室18内に導入される。また、ガスボンベ2'内の中性粒子ビーム供給用ガス(Ar等の希ガス)はレギュレーター12'を通りガス流量調整手段3'により所望の流量に調整され、ガス導入バルブ11'を通して放電管23内に導入される。

【0165】中性粒子ビーム供給用ガスとしてArガスを用いた場合を例に、中性粒子ビームの生成方法について説明する。放電管23内で生成したArイオンはメッシュ状のイオン加速電極33により引出された後、処理室内のガスとの電荷交換反応により中性化して被処理ウェハ6に入射する。試料台8にはイオン入射阻止電極34が設けられており、イオン入射阻止電圧供給電源32から供給された電圧により、プラズマ内のイオンが被処理ウェハ6に入射することを防止する。イオン加速電極33に電圧を供給するイオン加速電圧供給電源31は時間変調制御器1により制御され、時間変調制御器1の出力信号に従い、1[sec]以下の周期で時間変調された加速電圧を間歇的かつ周期的にイオン加速電極33に電圧を供給する。

【0166】時間変調制御器1は実施例1において説明した図7に示したものと同等のものであるのでここでは説明を省力する。図15に示した装置ではこのこの時間変調制御器1により放電即ちイオンの生成とイオンの加速即ち中性ビームの生成を同期して時間変調したり、二つのうちのうち少なくとも一方を時間変調して行なうこと

ができる。

【0167】以上説明した表面処理装置において、表面処理を実施した例を以下に述べる。反応種供給ガスとしてCHF₃ガス、中性粒子ビーム供給ガスとしてArを用いシリコン酸化膜のエッチングを行なった。即ち、図2に示した期間Aと期間Bにおいて放電を行ない、期間Bにおいてここではバイアス印加電力の供給の代わりにイオン加速電極への加速電圧の供給を行ない、期間Cにおいて放電とイオン加速電極への加速電圧の供給を停止するという処理を1[msec]以上1[sec]以下の周期で行なった。時間a、b、cの最適値はエッチング条件によりことなるため、それぞれの条件により実験で最適値を求めた。その結果、連続的に放電とイオン加速電圧の供給を行なう場合に比べて、レジストマスク、および下地の多結晶シリコン、あるいはシリコン窒化膜(Si₃N₄)との選択性が向上した。ここで、本実施例の方法では、期間Bだけではなく期間Cにおいてもイオン加速電極への加速電圧の供給が行なわれても同様に選択性が向上した。また、図5に示した方式において、バイアス印加電力の供給の代わりにイオン加速電極への加速電圧の供給は連続的に行ない、放電のみを間歇的かつ周期的に行なう方法もマスク材料と下地材料に対する選択性が向上させる効果があった。さらに、図6に示した方式において、放電は連続的に行ない、バイアス印加電力の供給の代わりにイオン加速電極への加速電圧の供給を間歇的かつ周期的に行なう方法もマスク材料と下地材料に対する選択性が向上させる効果があった。

【0168】本実施例の方法は他のガスによりシリコン酸化膜のエッチングを行なう場合や、また他の材料のエッチングを行なう場合にも有効である。

【0169】例えば、Cl₂ガスを用いた単結晶あるいは他結晶シリコンのエッチングにおいても、本実施例の方法によりレジストマスクとの選択性が向上した。

【0170】また、CH₃Fガスを用いたシリコン窒化膜(Si₃N₄)のエッチングにおいても、本実施例の方法によりレジストマスク、および下地のSiO₂との選択性が向上した。

【0171】さらに、BCl₃ガスを用いたアルミニウム(A)のエッチングにおいても、本実施例の方法によりレジストマスク、および下地のSiO₂との選択性が向上した。

【0172】これら各種材料のエッチングに際して、時間a、b、c、d、e、f、gの最適な設定値は、エッチングガスと材料の組合せ、またエッチング条件によって異なるため、本実施例において既に述べたように実験により目的に応じて最適値を見出せばよい。

【0173】本実施例は、マスク材料および下地材料との選択性を向上させる効果がある。

【0174】実施例8

図16は本発明の表面処理装置をヘリコン波方式のプラズマエッチング装置で実施した例である。

10

20

30

40

50

36

【0175】放電管23の周囲に設けたソレノイドコイルにより軸方向に垂直に形成した磁界を有する放電管23の回りに、径方向に2回り分のループ状アンテナ37を設け高周波電源36から整合器35'を通して高周波を印加することにより、ヘリコン波プラズマを励起させる。高周波電源36は時間変調制御器1の出力信号に従い、1[sec]以下の周期で時間変調された高周波電力をアンテナ37に印加できる。さらにバイアス電源16も時間変調制御器1の出力信号に従い、1[sec]以下の周期で時間変調されたバイアス電力を印加できるようになっている。これにより、ヘリコン波プラズマ放電とバイアス電力に印加を同期をとって時間変調したり、あるいはこれら二つのうち一方を時間変調することができる。放電手段以外は図7に示した装置と同等であるためここでは説明を省略する。

【0176】以上説明した表面処理装置を用い、図2に示したように放電とバイアス電力の印加を同期をとって1[msec]以上1[sec]以下の周期で周期的に行なう方法、また、図5に示したように放電を1[msec]以上1[sec]以下の周期で周期的に行なう方法、さらに、図6に示したようにバイアス電力の印加を1[msec]以上1[sec]以下の周期で周期的に行なう方法で単結晶シリコン、多結晶シリコン、シリコン酸化膜、シリコン窒化膜、およびアルミニウムのエッチングを行なった。その結果、いずれの材料でも、本実施例の方法により、マスク材料および下地材料との選択性が向上した。

【0177】本実施例は、マスク材料および下地材料との選択性を向上させる効果がある。

【0178】実施例9

図17は本発明の表面処理装置をヘリカル共鳴型高周波誘導方式のプラズマエッチング装置で実施した例である。

【0179】放電管23の周囲に、螺旋状コイル39を巻き、高周波電源36から整合器35'を通して高周波を印加することによりプラズマを励起させる。高周波電源36は時間変調制御器1の出力信号に従い、1[sec]以下の周期で時間変調された高周波電力を螺旋状コイル39に印加できる。さらにバイアス電源16も時間変調制御器1の出力信号に従い、1[sec]以下の周期で時間変調されたバイアス電力を印加できるようになっている。これにより、放電とバイアス電力に印加を同期をとって時間変調したり、あるいはこれら二つのうち一方を時間変調することができる。放電手段以外は図7に示した装置と同等であるためここでは説明を省略する。

【0180】以上説明した表面処理装置を用い、図2に示したように放電とバイアス電力の印加を同期をとって1[msec]以上1[sec]以下の周期で周期的に行なう方法、また、図5に示したように放電を1[msec]以上1[sec]以下の周期で周期的に行なう方法、さらに、図6に示したようにバイアス電力の印加を1[msec]以上1[sec]以下の周期で周期的に行なう方法で単結晶シリコン、多結晶シリコン

リコン、シリコン酸化膜、シリコン窒化膜、およびアルミニウムのエッチングを行なった。その結果、いずれの材料でも、本実施例の方法により、マスク材料および下地材料との選択比が向上した。

【0181】本実施例は、マスク材料および下地材料との選択比を向上させる効果がある。

【0182】実施例10

図18は本発明の表面処理装置をトランスフォーマ・カップルド・プラズマ(TCP)型高周波誘導方式のプラズマエッチング装置で実施した例である。

【0183】装置の試料台に対向して渦巻状に設置したコイル38に高周波電源36から整合器35'を通して高周波を印加することによりプラズマを励起させる。高周波電源36は時間変調制御器1の出力信号に従い、1[sec]以下の周期で時間変調された高周波電力を渦巻状コイル38に印加できる。さらにバイアス電源16も時間変調制御器1の出力信号に従い、1[sec]以下の周期で時間変調されたバイアス電力を印加できるようになっている。これにより、放電とバイアス電力に印加を同期をとって時間変調したり、あるいはこれら二つのうち一方を時間変調することができる。放電手段以外は図7に示した装置と同等であるためここでは説明を省略する。

【0184】以上説明した表面処理装置を用い、図2に示したように放電とバイアス電力の印加を同期をとって1[msec]以上1[sec]以下の周期で周期的に行なう方法、また、図5に示したように放電を1[msec]以上1[sec]以下の周期で周期的に行なう方法、さらに、図6に示したようにバイアス電力の印加を1[msec]以上1[sec]以下の周期で周期的に行なう方法で単結晶シリコン、多結晶シリコン、シリコン酸化膜、シリコン窒化膜、およびアルミニウムのエッチングを行なった。その結果、いずれの材料でも、本実施例の方法により、マスク材料および下地材料との選択比が向上した。

【0185】本実施例は、マスク材料および下地材料との選択比を向上させる効果がある。

【0186】

【発明の効果】本発明によりエッチングの収率が高まり、マスク材料と下地材料とのエッチングの選択比を向上させる効果がある。

【0187】

【図面の簡単な説明】

【図1】リアクティヴ・スポット当たりの吸着反応種数による、入射イオン1個当たりのエッチング収率の変化を表す図。

【図2】本発明の方法に関わり、エッチング収率を向上させるため、放電電力とバイアス印加電力の時間変調の仕方を表す図。

【図3】本発明の方法によって、加速された粒子の入射によって材料表面に生成するリアクティヴ・スポットに反応種が吸着する過程と、そこに加速された粒子が入射

して反応が起きる過程と、生成した反応生成物がリアクティヴ・スポットから脱離排気される過程が分離されることを表す概念図。

【図4】本発明の方法に関わり、排気時間の経過による反応生成物の分圧の変化を表す図。

【図5】本発明の方法に関わり、エッチング収率を向上させるため、放電電力の時間変調の仕方を表す図。

【図6】本発明の方法に関わり、エッチング収率を向上させるため、バイアス印加電力の時間変調の仕方を表す図。

【図7】本発明に関わる表面処理装置をマイクロ波プラズマエッチング装置において実施した例を表す図。

【図8】本発明に関わる一実施例を示し、マスク材料と下地材料とのエッチングの選択比が放電時間の変調により変化することを表す図。

【図9】本発明に関わる一実施例を示し、マスク材料と下地材料とのエッチングの選択比がバイアス印加時間の変調により変化することを表す図。

【図10】本発明に関わる一実施例を示し、マスク材料と下地材料とのエッチングの選択比が放電とバイアス印加停止している時間の変調により変化することを表す図。

【図11】本発明に関わる表面処理装置をマイクロ波プラズマエッチング装置において実施した例を表す図。

【図12】本発明に関わる表面処理装置をマイクロ波プラズマエッチング装置において実施した例を表す図。

【図13】本発明に関わる一実施例を示し、放電電力とバイアス印加電力の時間変調の一周期の中さらに放電電力の変調を行なう方法を表す図。

【図14】本発明に関わる一実施例を示し、放電電力とバイアス印加電力の時間変調の一周期の中さらにバイアス電力の変調を行なう方法を表す図。

【図15】本発明に関わる表面処理装置を中性粒子ビームアシストエッチング装置において実施した例を表す図。

【図16】本発明に関わる表面処理装置をヘリコン波方式プラズマエッチング装置において実施した例を表す図。

【図17】本発明に関わる表面処理装置をヘリカル共鳴型高周波誘導方式プラズマエッチング装置において実施した例を表す図。

【図18】本発明に関わる表面処理装置をトランスフォーマ・カップルド・プラズマ(TCP)型高周波誘導方式プラズマエッチング装置において実施した例を表す図。

【符号の説明】

1. 時間変調制御器

2. ガスボンベ

3. ガス流量調整手段

4. ターボ分子ポンプ

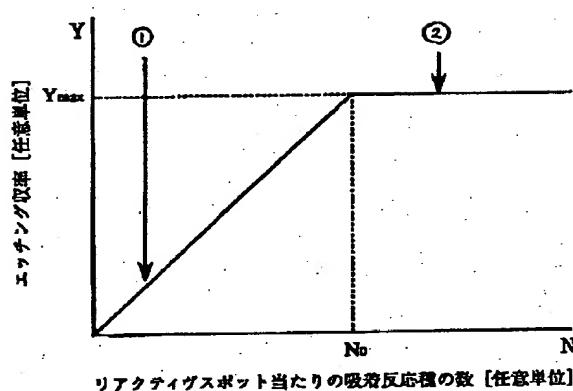
5. メカニカルブースターポンプ

6. 被処理ウェハ
7. プラズマ
8. 試料台
9. ヒーター
10. 冷媒
11. ガス導入バルブ
12. レギュレーター
13. 温度センサー
14. 試料台上下機構
15. 絶縁物
16. バイアス電源
17. バルブ
18. 処理室
19. 導波管
20. マグネットロン
21. 搬送系
22. ウェハ交換室

23. 放電管
24. 冷媒供給器
25. 温度調節器
26. ヒーター用電源
27. ロータリーポンプ
28. ゲートバルブ
29. ソレノイドコイル
30. 放電発生用電源
31. イオン加速電圧供給電源
32. イオン入射阻止電圧供給電源
33. イオン加速電極
34. イオン入射阻止電極
35. 整合器
36. 高周波電源
37. アンテナ
38. 漏巻状コイル
39. 螺旋状アンテナ

【図1】

図1

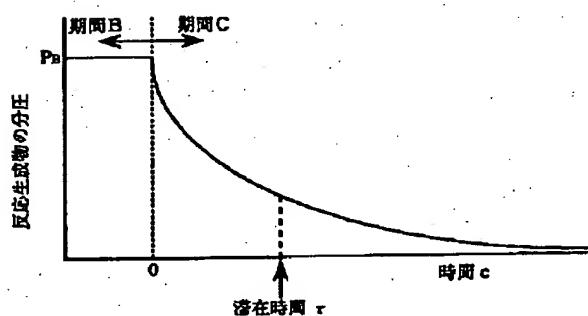
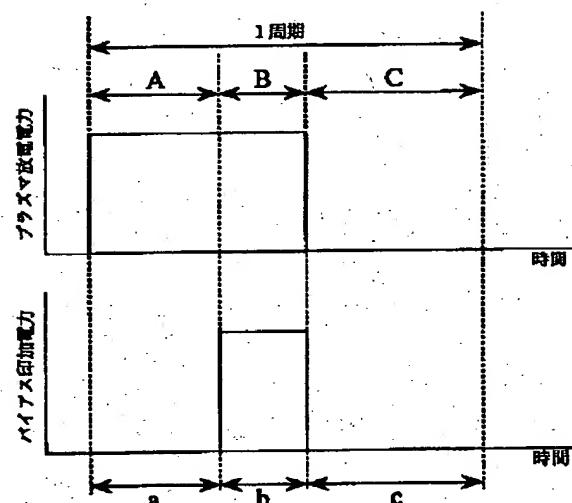


【図4】

図4

【図2】

図2

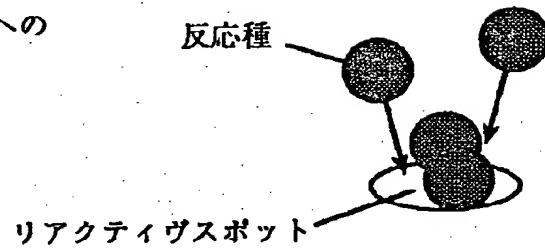


【図3】

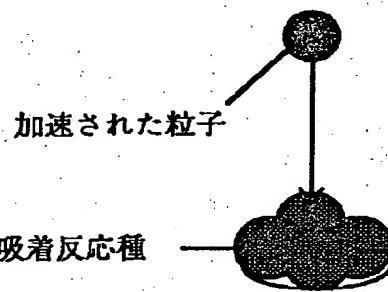
図3

エッティング素過程分離の概念

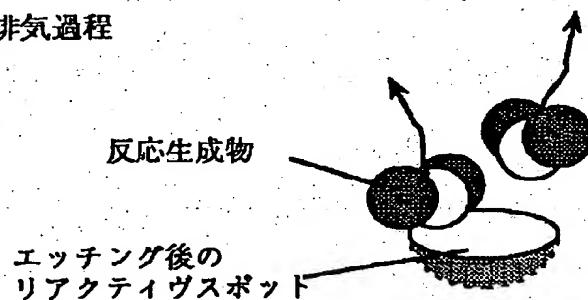
(1) リアクティヴスポットへの
反応種の吸着過程



(2) 加速された粒子の入射による
吸着反応種と材料との反応過程

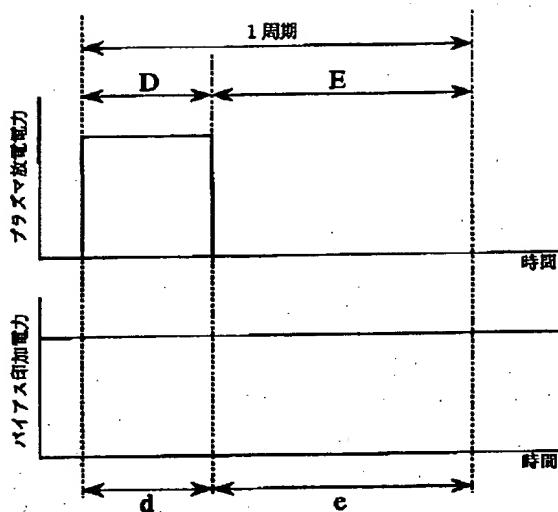


(3) 反応生成物の脱離-排気過程



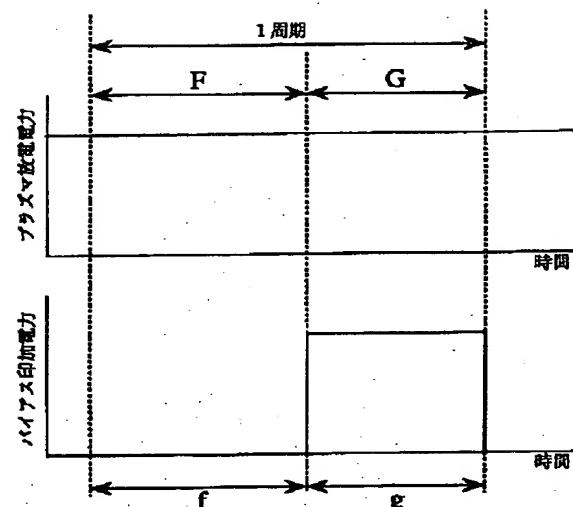
【図5】

図5



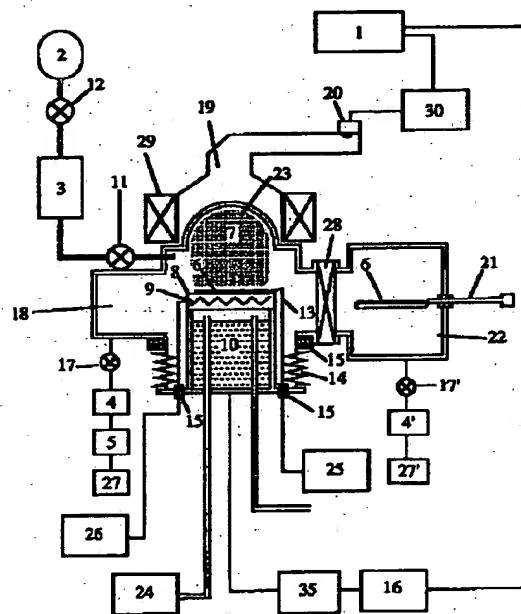
【図6】

図6



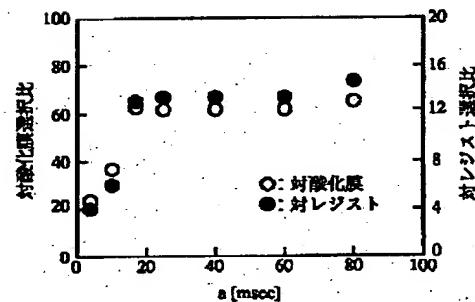
【図7】

図7



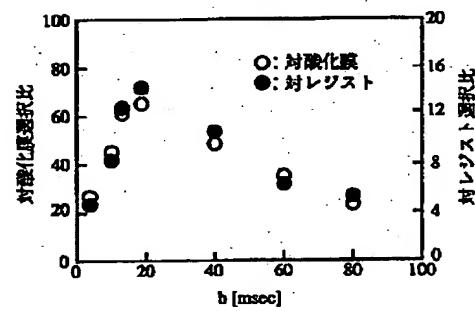
【図8】

図8



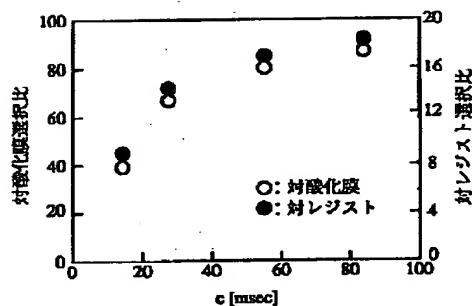
【図9】

図9



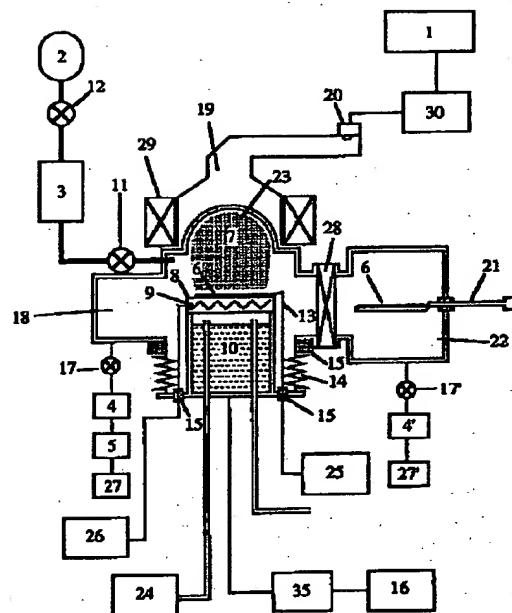
【図10】

図10



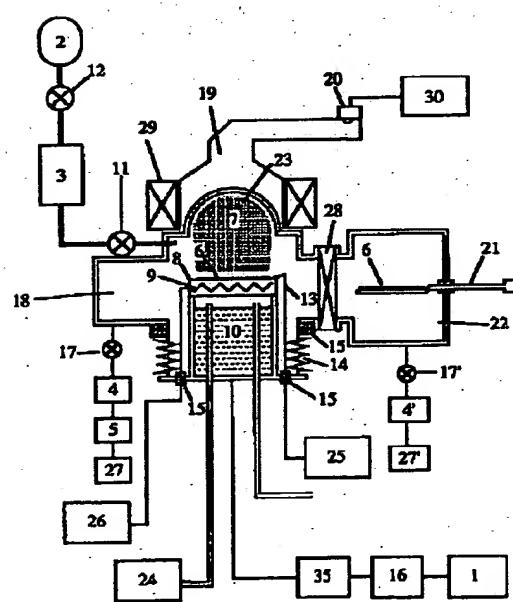
【図11】

図11



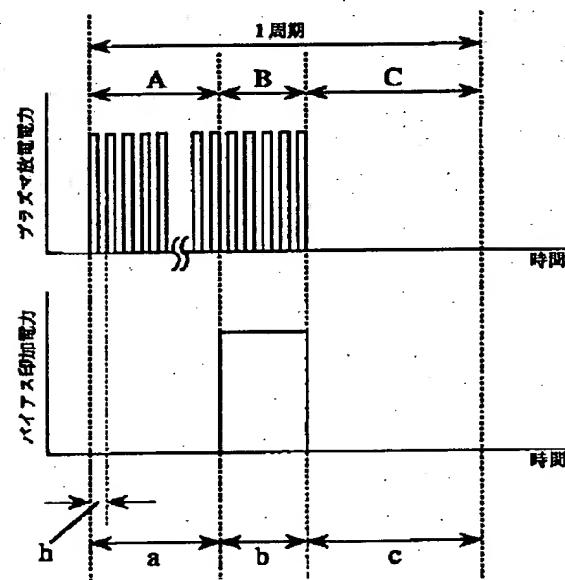
【図12】

図12



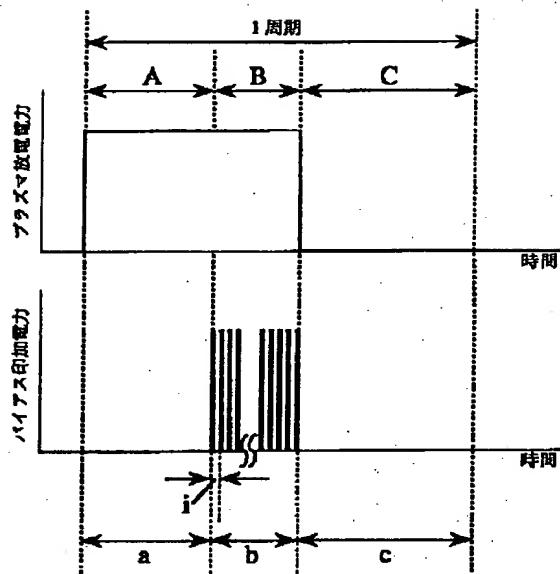
【図13】

図13



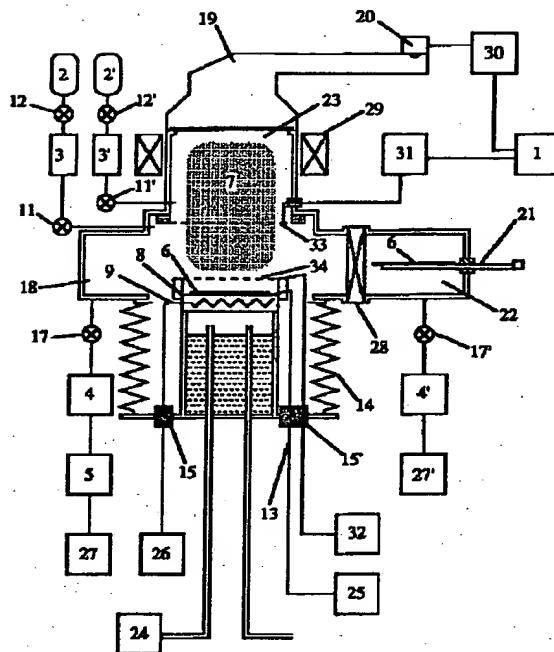
【図14】

圖 1-4



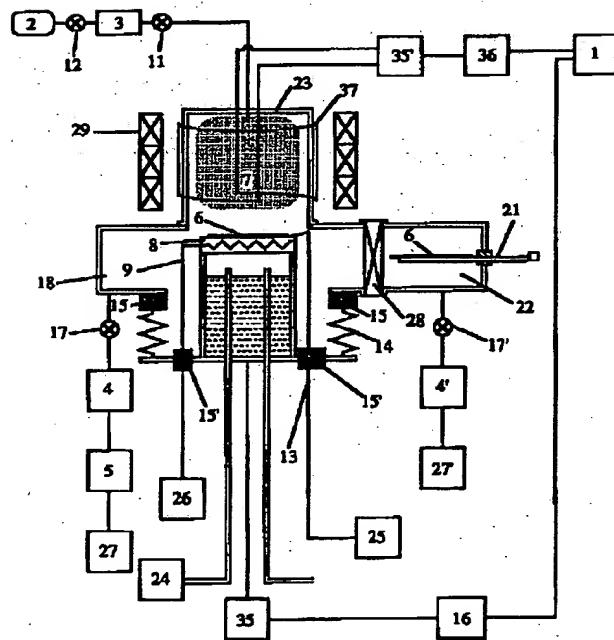
【図15】

图 15



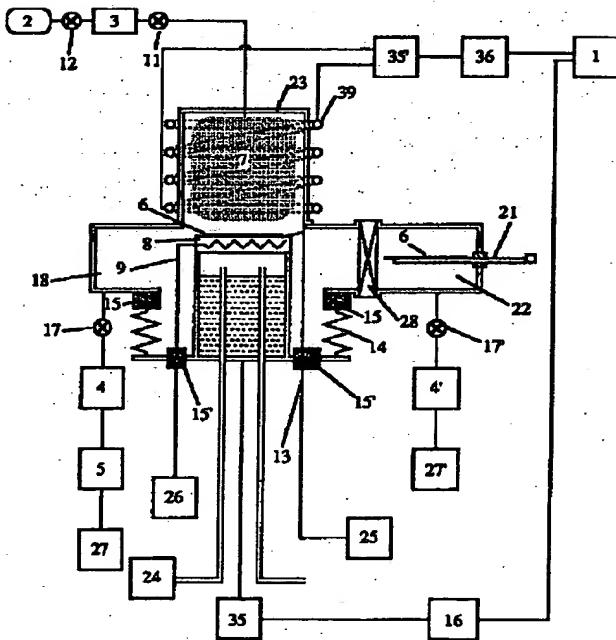
【図16】

16



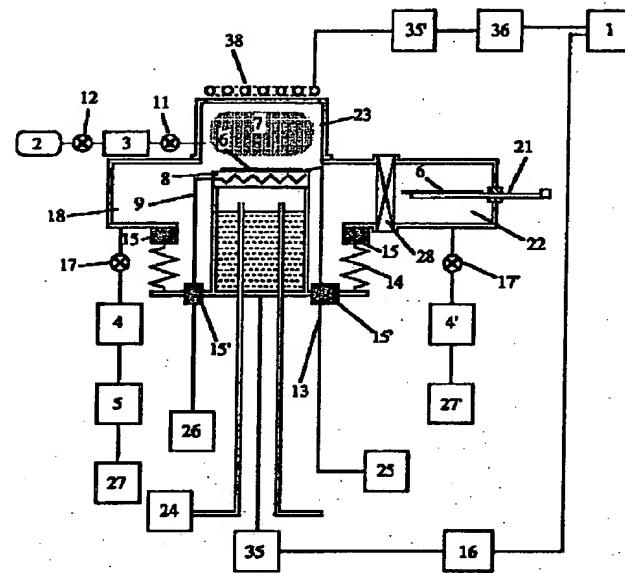
【図17】

図17



【図18】

図18



フロントページの続き

(72)発明者 水谷 異

東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内